



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Carrera de Ingeniería Agronómica

Respuesta de cóleos (*Plectranthus scutellarioides*) a enmiendas edáficas con biocarbon  
obtenido a partir de la biomasa residual de eucalipto

Trabajo de titulación previo a la obtención del título  
de Ingeniero Agrónomo

Autora:  
Eva Mariana Sangurima Pintado  
Correo electrónico: [evamarisangurima@hotmail.com](mailto:evamarisangurima@hotmail.com)  
CI: 0106975279

Directora:  
PhD. Tsai García Pérez  
CI:1715551022

Cuenca-Ecuador

03-marzo-2020



## RESUMEN

En un enfoque integrado para reducir el uso de sustratos importados en el área de la ornamentación mediante el uso de biochar, se llevó a cabo esta investigación que tiene por título “Respuesta de cóleos (*Plectranthus scutellarioides*) a enmiendas edáficas de biocarbón obtenido a partir de biomasa residual de eucalipto”. El trabajo se realizó en el cantón Cuenca, en el vivero de la empresa EMAC-EP ubicado en Yanaturo y tuvo como objetivo evaluar la efectividad del biochar a través de la productividad de las plantas de cóleos y la respuesta en el suelo como mejorador de condiciones edáficas. Para esto se empleó un diseño de bloques completos al azar con 5 tratamientos para evaluar las variables agronómicas y físico químicas del suelo. Se determinó que la adición de biochar incrementó el crecimiento de las plantas. Con una dosis de biochar de 10% se obtuvieron el mejor promedio respecto a las variables altura, biomasa aérea, peso radicular, tamaño de hojas y el diámetro de tallo. En cuanto a las propiedades fisicoquímicas se demostró que el biochar no siempre eleva los niveles de pH. Mientras que la conductividad eléctrica, la materia orgánica, la densidad aparente y el punto de saturación fueron estadísticamente diferentes entre tratamientos.

**Palabras claves:** Sustratos para maceta. Plantas ornamentales. Cultivo en contenedor. Propiedades del suelo.



## ABSTRACT

In an integrated approach to reduce the use of substrates imported into the area of the ornamentation using biochar, this research called "Response of cóleos (*Plectranthus scutellarioides*) to amendments of soil of biocarbón obtained from residual biomass of eucalyptus" was carried out. The work was conducted in Cuenca, in the vivariums of the company EMAC-EP located in Yanaturo. Its objective was to assess the effectiveness of the biochar through the productivity of plants of coleus and the response on the ground as improver of soil conditions. To conduct the study, a design of complete blocks at random with 5 treatments to evaluate the agronomic variables and the physical chemical soil was used. Findings showed that the addition of biochar increased the growth of plants. With a dose of biochar of 10% was obtained the best average compared to the variables height, aerial biomass, weight of the root, size of sheets and the diameter of the stem. In regard to the physico-chemical properties is demonstrated that the biochar does not always raise the pH levels. While the electrical conductivity, organic matter, the apparent density and the saturation point were statistically different between treatments.

**Keywords:** Substratum for flower pot. Ornamental plants. Crop in container. Soil properties.



## ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN .....	13
Justificación .....	16
1.2. Objetivos.....	18
1.3 Hipótesis .....	18
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	19
2.1. Biochar .....	19
2.2. Implicaciones agrícolas de la utilización del biochar .....	21
2.3. Biomasa .....	25
2.4. El cóleo ( <i>Plectranthus scutellarioides</i> ) .....	27
2.5. Sustrato de cultivo .....	28
2.6. Propiedades del suelo .....	29
3. MATERIALES Y MÉTODOS .....	31
3.1 Zona de Estudio .....	31
3.3. Desarrollo experimental del cultivo de cóleo con biochar .....	34
3.4. Diseño experimental.....	38
3.5. Variables.....	39
3.6. Evaluación de las plantas de cóleos.....	40
3.7. Análisis físico-químicos .....	42
3.8. Análisis hidrofísico.....	44
3.9. Análisis Químicos .....	45
3.10. Análisis estadísticos.....	46
4. RESULTADOS Y DISCUSION.....	48
4.1 Resultados de la producción del biochar .....	48
4.2. Rendimientos del cultivo de cóleos con biochar .....	48
4.3. Resultados de las propiedades físico-químicas .....	53
4.4. Resultados de las propiedades hidrofísicas .....	59
4.5. Análisis químico .....	66
4.6. Análisis de componentes principales.....	70
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	74
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	76
ANEXOS	83



## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Requerimiento total de biochar para el cultivo .....	34
<b>Tabla 2.</b> Distribución del riego.....	38
<b>Tabla 3.</b> Diseño de bloques al azar que se aplicó para el cultivo de cóleos. ....	39
<b>Tabla 4.</b> Variables de estudio .....	40
<b>Tabla 5.</b> Análisis químico .....	46
<b>Tabla 6.</b> Resultados del análisis del biochar a partir de residuos de eucalipto .....	48
<b>Tabla 7.</b> Prueba de normalidad Shapiro-Wilks para evaluación de la planta .....	49
<b>Tabla 8.</b> Prueba de homogeneidad de varianza Levene para evaluación de la planta .....	49
<b>Tabla 9.</b> Resultados del ANOVA incluyendo sus medias y comparación de Tukey para las variables agronómicas de la planta de cóleo después de 3 meses bajo el efecto de la aplicación de diferentes dosis de biochar .....	53
<b>Tabla 10.</b> Prueba de normalidad Shapiro-Wilks para propiedades físico químicas antes y después de la siembra de cóleos. ....	54
<b>Tabla 11.</b> Prueba de homogeneidad de varianza Levene para las variables físico-químicas.....	54
<b>Tabla 12.</b> Resultados del ANOVA incluyendo sus medias y desviación estándar, además la comparación de Tukey para las variables físicoquímicas del suelo después de 3 meses bajo el efecto de la aplicación de diferentes dosis de biochar .....	63
<b>Tabla 13.</b> Resultados del ANOVA incluyendo sus medias, además la comparación de múltiple de Tukey antes y después bajo el efecto de la aplicación de diferentes dosis de biochar .....	64
<b>Tabla 14.</b> Resultados de Kruskal-Wallis incluyendo sus medias y desviación estándar, para las variable conductividad eléctrica del suelo después de 3 meses bajo el efecto de la aplicación de diferentes dosis de biochar .....	65
<b>Tabla 15.</b> Resultados de Kruskal-Wallis incluyendo sus medias, para la variable conductividad eléctrica del suelo después de 3 meses bajo el efecto de la aplicación de diferentes dosis de biochar .....	65
<b>Tabla 16.</b> Contenido de macro elementos antes y después del ensayo.....	68
<b>Tabla 17.</b> Resultados de Kruskal-Wallis incluyendo sus medias, para las variables químicas del suelo después de 3 meses bajo el efecto de la aplicación de diferentes dosis de biochar .....	68
<b>Tabla 18.</b> Relaciones entre cationes K, Ca, y Mg. ....	69
<b>Tabla 19.</b> Valores óptimos para la mayoría de cultivos .....	70
<b>Tabla 20.</b> Varianza explicada .....	70
<b>Tabla 21.</b> Correlación de cada variable con las dos componentes principales construidas.....	72



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Mapa de la ubicación del lugar donde se desarrolló el proyecto .....	31
<b>Figura 2.</b> Horno semiindustrial utilizado en la pirólisis .....	32
<b>Figura 3.</b> Material antes y después del proceso de pirólisis. ....	34
<b>Figura 4.</b> a) Plantas madres; b) estacas; c) plántulas de cóleos en bandejas germinadoras.....	35
<b>Figura 5.</b> a) Preparación del suelo base.....	36
<b>Figura 6:</b> a) mezclas del suelo base con el biochar; b) Llenado de las macetas con las mezclas de suelo y biochar; c) Siembra de plantas de cóleos.....	37
<b>Figura 7.</b> A) altura inicial de la planta, B) tamaño de hojas, C) diámetro de tallo .....	41
<b>Figura 8.</b> Muestras de plantas para secar en la estufa .....	42
<b>Figura 9.</b> Variabilidad del pH de los diferentes tratamientos, antes y después de cultivo de cóleos: T1= 0% de biochar, T2= 2% de biochar, T3= 5% de biochar, T4= 8% de biochar, T5= 10% de biochar. ....	55
<b>Figura 10.</b> Valores de materia orgánica antes y después del ensayo T1= 0% de biochar; T2 = 2% de biochar; ..	56
T3 = 5% de biochar; T4= 8% de biochar; T5= 10% de biochar. ....	56
<b>Figura 11.</b> Valores de conductividad eléctrica antes y después del ensayo: T1= 0% de biochar, T2= 2% de biochar, T3= 5% de biochar, T4= 8% de biochar, T5= 10% de biochar. ....	57
<b>Figura 12.</b> Valores de la densidad aparente antes y después del ensayo: T1= 0% de biochar, T2= 2% de biochar, T3= 5% de biochar, T4= 8% de biochar, T5= 10% de biochar. ....	58
<b>Figura 13.</b> Valores de punto de saturación antes y después del ensayo: T1= 0% de biochar, T2= 2% de biochar, T3= 5% de biochar, T4= 8% de biochar, T5= 10% de biochar. ....	59
<b>Figura 14.</b> Valores de capacidad de campo antes y después del ensayo: T1= 0% de biochar, T2= 2% de biochar, T3= 5% de biochar, T4= 8% de biochar, T5= 10% de biochar. ....	60
<b>Figura 15.</b> Valores de punto de marchitez antes y después del ensayo: T1= 0% de biochar, T2= 2% de biochar, T3= 5% de biochar, T4= 8% de biochar, T5= 10% de biochar. ....	61
<b>Figura 16.</b> Valores de agua disponible antes y después del ensayo: T1= 0% de biochar, T2= 2% de biochar, T3= 5% de biochar, T4= 8% de biochar, T5= 10% de biochar. ....	62
<b>Figura 17.</b> Análisis de componentes principales para las variables del suelo y planta de los tratamientos .....	73



## LISTA DE ANEXOS

<b>Anexo: 1</b> Resultados del análisis del suelo .....	83
<b>Anexo: 2</b> Formato para calcular el punto de saturación, capacidad de campo, punto de marchitez y agua disponible .....	83
<b>Anexo: 3</b> Resultados del análisis del suelo al inicio del ensayo. ....	84
<b>Anexo: 4</b> Resultados del análisis del suelo al después de 3 meses del ensayo. ....	84



## ABREVIATURAS Y SIMBOLOGIA

t = toneladas

nm = El nanómetro es la unidad de longitud del Sistema Internacional de Unidades (SI) que equivale a una mil millonésima parte de un metro o a la millonésima parte de un milímetro.

g = gramos

ha = hectáreas

O<sub>2</sub> = Oxígeno

CO<sub>2</sub> = Dióxido de carbono

EMAC-EP = Empresa Pública Municipal de Aseo de Cuenca.

s = segundo

CH<sub>4</sub> = metano

CO = monóxido de carbono

N<sub>2</sub>O = óxido nitroso

CIC = Capacidad de Intercambio Catiónico

CE = Conductividad Eléctrica

MO = Materia Orgánica

CC = Capacidad de Campo

PMP = Punto de marchitez permanente

pF = potencial de succión





### Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

---

Eva Mariana Sangurima Pintado en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Respuesta de cóleos (*Plectranthus scutellarioides*) a enmiendas edáficas con biocarbón obtenido a partir de biomasa residual de eucalipto", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 03 de marzo del 2020

---

Eva Mariana Sangurima Pintado

C.I: 0106975279



### Cláusula de Propiedad Intelectual

---

Eva Mariana Sangurima Pintado, autora del trabajo de titulación "Respuesta de cóleos (*Plectranthus scutellarioides*) a enmiendas edáficas con biocarbón obtenido a partir de biomasa residual de eucalipto", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 03 de marzo del 2020

---

Eva Mariana Sangurima Pintado

C.I: 0106975279



### **AGRADECIMIENTOS:**

A la prestigiosa Universidad de Cuenca, en especial a todo el personal docente de la Carrera de Ingeniería Agronómica quienes me han apoyado y motivado.

Un profundo y sincero agradecimiento a mi directora de tesis Dra. Tsai García, quien ha sido la persona capaz de guiarme a lo largo de mi tesis, además quiero agradecer al Dr. Eduardo Chica quien, a más de ser un excelente profesor, fue un gran amigo mil gracias por su apoyo.

Agradezco a la Empresa Municipal de Aseo de Cuenca EMAC- EP por abrirme las puertas y así poder realizar mi trabajo de titulación.

También quiero agradecer a mi familia y amigos que me han apoyado a lo largo de mi carrera Universitaria

Eva Sangurima



## DEDICATORIA

A Dios por brindarme la salud y vida.

Con mucho cariño y un infinito amor dedico mi trabajo de investigación a mis padres Rafael Sangurima y Virginia Pintado en especial a mi madre, simplemente me llena de orgullo ser su hija a más de ser una gran mujer ha sido mi mejor amiga y compañera. A mis herman@s en especial a Wilson por haber confiado en mis capacidades y haberme dado la oportunidad de haber tenido una carrera Universitaria.

A mi esposo Armando por ser el hombre que Dios me regalo, y gracias a su apoyo pudo llevarme hasta el final de esta etapa.

Finalmente, a mi hijo Josué David por ser mi motivación y mi fuerza para continuar, él es la muestra que los milagros existen.

Eva Sangurima



## 1. INTRODUCCIÓN

La producción de plantas ornamentales es un aspecto de importancia comercial en el sector de la horticultura en todo el mundo (Zulfiqar, 2019). La demanda de plantas ornamentales en macetas está aumentando debido a la expansión urbana (Santos, 2017). En el cultivo de plantas ornamentales la calidad del sustrato es un factor principal, debido a que presentan tasas altas de transpiración, demandan agua y probabilidad de salinización, para lograr su éxito es necesario utilizar sustratos adecuados (Gayosso, Borges, Villanueva, Estrada, y Garruña, 2016).

Para responder a estos criterios, los sustratos normalmente contienen materiales orgánicos tales como la turba y estiércol y materiales inorgánicos como arena perlita y vermiculita (Liu, 2015). Entre los componentes orgánicos, la turba ha sido tradicionalmente el ingrediente predominante por sus características físicas estables y su alta capacidad de intercambio de nutrientes estas características apoyan el crecimiento de las plantas (Álvarez, Pasian, Lal, López, y Fernández, 2016).

Alrededor de 11 millones de toneladas de turba se utilizan anualmente con fines hortícolas en el mundo (Alvarez et al., 2016). En 2012, Ecuador importó aproximadamente 2 989 t de turba (Hernández, 2013). Este material es un recurso no renovable, razón por la cual los costos elevados, la preocupación creciente por el deterioro de los ecosistemas y la sobreexplotación de los recursos naturales propician la búsqueda constante de sustratos alternativos, que cumplan con las funciones de sostén y de nutrición de las plantas y que sean materiales disponibles, económicos y no dañen el ambiente (Gayosso et al., 2016).





Por otra parte, el aumento de la población está acompañado de la producción de residuos, hoy en día, uno de los mayores problemas de la comunidad humana es la generación diaria de muchas toneladas de residuos, como consecuencia del excesivo consumo, estas tendencias amenazan con acelerar el cambio climático, la pérdida de biodiversidad, la degradación de los suelos (Estrella y González, 2014). Frente a estos problemas, es necesario tomar medidas estratégicas como ejemplo: el reciclaje, reúso, y la optimización de los recursos naturales, dentro de este campo y de esta nueva visión, se puede enmarcar el biochar y el compost como posibles alternativas baratas y una opción sostenible para la gestión de residuos (Méndez, 2017).

El compost es un producto de residuos biodegradables generados por la descomposición biológica aeróbica (Liu, 2015). Puede aumentar el estado nutritivo del suelo, mejorar la estructura, retención de agua y las comunidades microbianas (Zulfiqar, 2019). Al igual que el compost Trupiano et al., (2017), sugiere que el biochar ha atraído mucha atención en la formulación de sustratos para macetas. El biochar es una enmienda orgánica, se define como un material rico en carbono que se obtiene tras la pirólisis de la biomasa (Abiven, Schmidt, y Lehmann, 2014).

Investigaciones locales y regionales dan evidencia de que este material puede mejorar la productividad de los suelos, influenciando sobre las propiedades fisicoquímicas como: aumento de la retención de agua y nutrientes, bajar la densidad aparente y mejorar el pH de los mismos y como medio de fijación de carbono (Cueto, 2016; Iglesias, Alegre, Salas, y Egüez, 2018). En un estudio local se observó un mejor crecimiento de plantas en suelos enmendados con biochar (Díaz, 2017), otro estudio informó el impacto positivo al incorporar biochar en sustratos en macetas, remplazando hasta el 50% de turba en plantas ornamentales (Alvarez et al., 2016).



Bajo estos antecedentes se torna importante determinar si el biochar es capaz de mejorar las propiedades de los suelos, debido a esto se ha visto necesario realizar este estudio con el fin de profundizar el conocimiento sobre la producción de biochar a partir de residuos de eucalipto y las alteraciones que se pueden producir en las características químicas e hidrofísicas del suelo a causa de la incorporación de biochar.



## Justificación

El deterioro ambiental tiene efectos muy graves sobre la fauna, la flora, los recursos renovables y los seres humanos (Graizbord, 2016). Actualmente algunos países han tomado cartas en el asunto modificando el uso de sus recursos para tener una mejor calidad de vida. Estados Unidos gracias a su programa cero residuos está separando sus residuos compostables, reciclables y basura, Canadá ha fomentado la creación de azoteas verdes, la separación de residuos, la inclusión de la energía solar y planes de rehabilitación rural para el cultivo (Schejtman, Bidart, y Deleersnyder, 2015). En Ecuador (Cuenca) se ha implementado un plan de desarrollo de parques y las áreas verdes como elementos clave para mantener una buena calidad de vida, estas zonas favorecen el bienestar de las personas tanto emocional como socialmente, para el mantenimiento de estas zonas la empresa EMAC realiza la propagación de especies ornamentales (Santos, 2017b).

Las actividades diarias de carácter agrícola, forestal o urbano generan residuos orgánicos que precisan de una gestión medioambiental y que siguiendo el principio de reducir, reciclar y reutilizar pueden ser utilizados como sustratos de cultivos o para la mejora de sustratos existentes, generando una creciente necesidad de investigación en sustratos de cultivo (Dulac, 2018). En la industria de viveros y más específicamente, para la producción de plantas ornamentales, la correcta selección del sustrato en donde crecerán las plantas juega un papel fundamental, por su volumen limitado, deben cumplir con las funciones de un suelo edáfico proporcionando a la planta además del soporte físico, el agua, el aire y los nutrientes adecuados (Gayosso et al., 2016).





Como una alternativa se tiene el biochar, el uso de este material orgánico como sustituto de la turba en la producción de plantas ornamentales en contenedores, es una estrategia biótica interesante para almacenar carbono en tierra de jardín (López et al., 2013). Este sustrato todavía no está estandarizado y sus propiedades pueden variar según la materia prima o el proceso de producción, la industria no puede aceptar estas variaciones y requiere sustratos de alta calidad homogéneos y consistentes (Oliverio, 2014).

Por otra parte, en Cuenca existe una alta concentración de industrias madereras que producen residuos de madera de eucalipto potencialmente utilizables en la producción de biochar (Pelaez, Garcia, Martí, y Montero, 2015). Por este motivo se considera abrir un proceso de exploración de la aplicabilidad del uso de biochar, valorizando subproductos de una industria establecida en la ciudad, a la vez de mejorar el desempeño de los cultivos.



## 1.2. Objetivos

### 1.2.1. Objetivo General (OG)

Evaluar la respuesta de cóleos (*Plectranthus scutellarioides*) después de aplicar enmiendas edáficas con biocarbón obtenido a partir de biomasa residual de eucalipto y analizar las propiedades físico químicas del suelo.

### 1.2.2. Objetivos específicos (OE)

- Producir biochar a partir de residuos orgánicos provenientes del eucalipto (*Eucalyptus*).
- Evaluar el desarrollo de cóleos (*Plectranthus scutellarioides*) a nivel de invernadero, cultivado en sustrato enmendado con biochar a base de eucalipto.
- Establecer las diferencias en las propiedades químicas e hidrofísicas del sustrato antes y después del ensayo y analizar la relación que tiene con el desarrollo del cultivo.

## 1.3 Hipótesis

La adición de biochar a base de eucalipto en el sustrato, incrementa el desarrollo del cultivo de cóleos a través de la modificación de las propiedades químicas e hidrofísicas del suelo.



## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Biochar

El biochar es un material sólido que contiene una estructura carbonosa, porosa y una gran variedad de grupos funcionales en la superficie. Este material es producido por la conversión termoquímica de materiales orgánicos en un ambiente sin oxígeno (pirólisis) a temperaturas de 350- 500 °C (Ibarrola, Evar, y Reay, 2013). El biochar es un producto químicamente complejo que posee propiedades aptas para el almacenamiento seguro de carbono en un medio natural (Oliveira et al., 2017).

#### 2.1.1. Origen del biochar

El interés por el uso de biochar para mejorar las propiedades del suelo surge del estudio de los denominados suelos de “Terra preta do Indio” (suelos de tierra oscura y de origen antropogénico del Amazonas, también denominadas Tierras Negras del Amazonas (Lehmann, Gaunt, y Rondon, 2006). Se cree que estas tierras son de origen antropogénico y que surgen como resultado de la modificación química y mineral de suelos preexistentes, a consecuencia de las actividades de las culturas indígenas que habitaban la región antes de la llegada de los Europeos (800 a C – 500 d C) (Cueto, 2016). Estos suelos se caracterizan por ser suelos muy fértiles, con una elevada capacidad de retención de nutrientes y agua, un elevado contenido de carbono orgánico y alta resistencia a la descomposición de la materia orgánica (Olmo, 2016).

#### 2.1.2. Producción de biochar

El proceso térmico que produce el biochar se llama pirólisis (del griego, “piro” que significa fuego y lisis”, que significa separación). La pirólisis se define como un proceso termoquímico mediante el cual el material orgánico se descompone, por la acción del calor en una atmósfera deficiente de oxígeno y se transforma en una mezcla de hidrocarburos, gases combustibles,



residuos de carbón y agua (Olmo, 2016). Durante la pirólisis la lignina, celulosa, hemicelulosa, grasas y almidones en el material de alimentación se rompe térmicamente formándose 3 productos principales: biochar fracción sólida, bioaceite material volátil condensado y gases no condensables por ejemplo CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, y H<sub>2</sub> (Oliveira et al., 2017).

#### ***2.1.2.1 Pirólisis lenta***

La pirólisis lenta se caracteriza por lapsos pausados de calentamiento de la biomasa, temperaturas bajas y largos tiempos de residencia de los sólidos y el gas. De acuerdo al sistema los lapsos de calentamientos son cerca de 0.1 a 2 °C por segundo y prevalecen las temperaturas alrededor de 300 a 800 °C. El tiempo de residencia del gas puede ser mayor a 5 s, mientras que para la biomasa puede ser de minutos a días, este sería el proceso con el más alto rendimiento del biochar (Marín, Barrezueta, y García, 2018).

#### **2.1.3. Características del biochar**

En general, el biochar es un sólido carbonoso, de color negro, con una superficie intrincada y desordenada, suelen estar formado por C y cenizas , además elementos como: O<sub>2</sub>, H, P, K, N, Ca, S, Si, Mn, Mg (Ding et al., 2016), además posee una alta porosidad con micro, meso y macro poros, cuyos tamaños van de < 2nm, 2-50 nm y >50 nm, respectivamente por lo cual lo han comparado con un arrecife subterráneo que puede ser hábitat para microorganismos, presenta muy baja densidad aparente entre 0.3 a 0.43 g cm<sup>-3</sup> (Escalante et al., 2016),

Según Preston (2013) el biochar se caracteriza por su gran área de superficie (30 m<sup>2</sup>/g), aunque también se ha encontrado valores como 3.64 y 14.14 m<sup>2</sup>/g. Su alta superficie específica reduce la lixiviación de los nutrientes y el efecto toxico, tanto de contaminantes orgánicos como inorgánicos (Méndez, 2017).



## **2.2. Implicaciones agrícolas de la utilización del biochar**

El uso de biochar como enmienda del suelo se encuentra enmarcado dentro de cuatro objetivos complementarios y sinérgicos: 1) manejo de residuos, 2) mitigación del cambio climático, 3) producción de energía y 4) mejoramiento del suelo, como resultado de la incorporación del biochar se pretende mejorar el desarrollo de los cultivos y por ende su producción (Molina, 2013) .

### **2.2.1. Efectos sobre el desarrollo de las plantas y las propiedades del suelo**

Según Chavéz et al., (2017) los efectos del biochar en las propiedades del suelo dependen de varios factores, como la biomasa o el tipo de materia prima, las variables usadas en el proceso de pirólisis, la tasa de aplicación y las condiciones ambientales. El biochar es considerado como un acondicionador del suelo, que mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

Los efectos del biochar en las cualidades del suelo y la productividad de los cultivos han sido analizados, con resultados generalmente positivos, se cree que los efectos beneficiosos de la aplicación de biochar al suelo mejoran con el tiempo. En un experimento realizado en el Azuay se aplicó biochar a partir de la biomasa residual de eucalipto al suelo y se evaluó la productividad del maíz, bajo las condiciones estudiadas se encontró un incremento en el rendimiento y proteína del grano de maíz con la incorporación de biochar, así como otras características fenológicas. Entre las conclusiones de este trabajo se encontró que hubo cambios positivos en las características de los suelos comparando antes y después, también se realizó un análisis económico y se determinó que el uso de biochar es viable (Iglesias et al., 2018).

Por otro lado un estudio hecho por Djousse, Allaire, y Munson, (2018), se centró en la producción y caracterización de dos biochar producido a partir de mazorca de maíz y corteza de eucalipto, ambos biochar exhibieron buenas propiedades agronómicas. Se caracterizaron por



poseer propiedades físicas similares, el biochar a base de mazorcas de maíz tuvo una mayor absorción de agua, el biochar a base de cortezas de eucalipto tuvo un pH de 8.1 vs 9.3 de corteza de maíz mientras que la conductividad eléctrica fue de 0.68 vs 0.25 dS/m.

Estudios demuestran que algunos tipos de biochar mejoran la estructura y fertilidad del suelo, lo que conduce al incremento de la producción de biomasa. Ortega et al., (2015) realizó el estudio de restauración ecológica del suelo mediante la aplicación de diferente niveles de biochar (10, 20 y 30 t/ha) y evaluó su efecto en la producción forrajera de alfalfa. Los resultados superiores se obtuvieron al aplicar 30 t/ha de biochar, así en el primer corte se alcanzó menor tiempo de floración (40 a 50 días), mayor cobertura basal y aérea, una mejor altura y sobre todo mayor producción forrajera además se encontró una mejor calidad de suelos. Por su parte Ramírez, (2014), en su trabajo utilizó el biochar como sustrato sin presencia de suelo y evaluó el cultivo de rábano su trabajo demostró que se necesita un aporte adicional de macro y micronutrientes para el desarrollo de la planta.

En la zona de Baba - Ecuador se evaluó el cultivo de pimiento después de aplicar tres dosis de biochar, como resultado hubo diferencia estadística entre tratamientos, en cuanto a la variable días de floración, el más precoz fue el tratamiento con biochar 3750 kg/ha (T2), con 34 días, y en las variables altura, diámetro de planta y longitud de fruto con el tratamiento con biochar 500 kg/ha (T1) alcanzó los mejores promedios (Briones 2017).

También se ha evaluado el crecimiento y producción de frejol común fertilizado con biochar, a través de un experimento simultáneo en invernadero con tres biochar (cáscara de arroz, aserrín y ensilaje de sorgo), en cada experimento se adiciono cinco concentraciones de biochar (0%, 2.5%, 5%, 7.5% y 10%). En general, la dosis del 10% de cascara de arroz, 7.5% de aserrín y



7.5% de sorgo fueron los que mayor producción de biomasa obtuvieron (Bicalho, Fernandes, Colen, y Arruda, 2017).

El biochar también puede ser apropiado para contrarrestar los efectos acidificantes de la biomasa de algunas especies en el suelo. Gilces, (2014), menciona que los efectos de la aplicación de biochar y cenizas influyeron en el pH mostrando un efecto alcalinizante tanto en cenizas como en biochar. De acuerdo con Martínez, (2015) al evaluar el desarrollo de plantas de pepino usando tres tipos de biochar : bagazo de agave, viruta de álamo y olote, el biochar de agave incrementó significativamente el pH.

En la ciudad de Cuenca el uso de biochar de acícula de pino como enmienda de suelo negro andino Andosol ha sido estudiado por (Díaz, 2017). Las dosis que se utilizaron fueron de 2 y 4 % y se comparó con un testigo 0 %, el tratamiento 2% aumentó significativamente el crecimiento del cebollín, pero no la del nabo que presentó mejor crecimiento el control, en cuanto a la conductividad eléctrica hubo diferencia significativa entre tratamientos, presentando el valor más alto el tratamiento de 4%. La incorporación del biochar bajo el pH de 4.9 a 4.4 y 4.5 para los tratamientos 2 y 4%.

Los beneficios del biochar aplicado al suelo se han atribuido a la disminución de la densidad aparente, la mejora de la dinámica del agua al modificar la estructura del suelo, Olmo (2016) después de haber realizado experimentos tanto en condiciones ambientales controladas como en campo, utilizando diferentes biochar producto de la paja de trigo y poda de olivo, aplicando a especies como el algodón, maíz, berenjena, garbanzo, pimiento, tomate y soja, expresa que el biochar mejora las propiedades físico- químicas del suelo, aumenta el crecimiento y tiene una buena producción en los cultivos y que la adición de biochar redujo la densidad aparente y la compactación del suelo.



Por su parte Alvarez et al., (2016), en su trabajo evaluó la idoneidad de mezclas de biochar elaborado a partir de *Pinus monticola* y vermicompost preparado a partir de estiércol vacuno como sustitutos parciales de la turba para la producción de dos especies ornamentales: geranio (*Pelargonium peltatum*) y petunia (*Petunia hybrida*). Los resultados fueron positivos en ciertos casos mejor que la turba, estas mezclas mejoraron la capacidad de retención de agua durante periodos con falta de riego, también demuestran que es posible reducir el uso de la turba entre el 14 y el 42% en la producción de plantas ornamentales en contenedor.

### **2.2.2. Ventajas del uso de biochar en el suelo**

El carbono en el biochar es almacenado en una forma química estable y hace falta mucha energía para oxidarlo o reducirlo. Aunque poca investigación se ha publicado con relación a su estabilidad a largo plazo, estudios sugieren un tiempo medio de permanencia del biochar en el suelo de al menos cien años, comparados contra 2 o 3 años de la MO de biomasa fresca o estiércol y contra los 50 de la MO de los suelo (Abiven et al., 2014).

El papel que desempeña el biochar en relación con la reducción de emisiones de los gases de efecto invernadero representa un campo de estudio que aún no se ha completado satisfactoriamente. Así es que la repercusión de la aplicación de biochar en suelos con emisiones de GEI distintos al CO<sub>2</sub>, como son el CH<sub>4</sub> o el N<sub>2</sub>O requiere de una mayor investigación y aun no se conoce con exactitud el alcance que supone el uso del biochar como instrumento de mitigación de las emisiones de estos gases (Mukherjee y Lal, 2013).

### **2.2.3. Desventajas del biochar**

No todos los suelos responden de la misma forma a esta enmienda además, la disponibilidad y costos del biochar son los mayores obstáculos para el uso de biochar aunque también se perciben





otros aspectos por ejemplo la erosión del viento durante el esparcimiento y el riesgo de inhalación humana como consecuencias negativas (Maroušek, Vochozka, Plachý, y Žák, 2017).

### **2.3. Biomasa**

Biomasa es el conjunto de materia orgánica renovable de origen vegetal o animal obtenida naturalmente o por alteración artificial de la anterior (Portero, 2014). En la actualidad, en varios países del mundo, grandes cantidades de residuos de agricultura, basura biodegradable y biomasa forestal son quemadas o abandonadas para su descomposición. Estas prácticas genera emisiones de gases a la atmosfera tales como; CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O además genera inmovilidad del N y reduce la flora bacteriana encargada de la degradación de los rastrojos de los cultivos (Ibarrola et al., 2013).

#### **2.3.1. Biomasa utilizada en la pirólisis**

Inicialmente el biochar se preparó a partir de biomasa no residual. Sin embargo, estudios posteriores demostraron que es posible preparar biochar a partir de diferentes residuos orgánicos, lo que tiene más sentido desde el punto de vista medioambiental (Cueto, 2016). El biochar puede obtenerse a partir de diferentes materias primas de naturaleza orgánica por ejemplo: biomasa agrícola y forestal, residuos orgánicos y urbanos, lodos de aguas residuales, etc (Olmo, 2016). Sin embargo, la idoneidad de cada tipo de biomasa como la materia prima en la producción de biochar depende de su composición química, su volumen de producción dispersión y otros factores logísticos y económicos (Cueto, 2016).

La industria de los muebles de madera es un sector que genera cantidades importantes de residuos madereros, en Cuenca hay una alta concentración de industrias de muebles (más de 60 % de los muebles de madera del país son producidos en esta región), esta ciudad presenta potencial para aprovechar el aserrín y otros residuos sólidos de tamaño pequeño, conocidos como



recortes (Pelaez et al., 2015). La viruta de eucalipto es considerada un material de poco valor, debido a su baja densidad, gran dispersión sobre el terreno, difícil transporte, entre otras dificultades. En la actualidad los residuos son utilizados para camas en galpones avícolas, establos, como un componente para fertilizantes ecológicos, para la fabricación de tableros aglomerados y en menor medida como un biocombustible en calderas para secadores de madera de las propias industrias (Portero, 2014).

### **2.3.2. Características generales del Eucalipto**

El eucalipto es un árbol de la familia *Myrtacea*, es una especie originaria de Australia y Tasmania, fue introducida a la región austral del Ecuador hacia 1870, existe alrededor de 500 especies (Fernandez y Silva, 2016). Las primeras plantas de *Eucalyptus globulus* Labill, llegaron al austro ecuatoriano y a Cuenca específicamente, a finales de la década de 1860 o principio de 1870 (Iglesias et al., 2018).

### **2.3.3. El eucalipto en el austro del Ecuador**

La especie *Eucalyptus globulus* fue vastamente plantada sobre la meseta central de la cordillera de los Andes del Ecuador entre las alturas de 1800 y 3300 m.s.n.m. La principal concentración de plantaciones se encuentra entre Quito y Latacunga, pero las plantaciones se extienden a las provincias del Azuay, Bolívar, Cañar, Carchi, Cotopaxi, Chimborazo, Imbabura, Loja. En el estudio de cobertura y uso del suelo de la provincia del Azuay, se reporta una superficie de 12523.9 hectáreas de eucalipto y 612.4 hectáreas de plantaciones de asociaciones de pino y eucalipto (Iglesias et al., 2018). El eucalipto ( *Eucalyptus globulus* y *E. saligma* en la Sierra) es la especie con mayor volumen de aprovechamiento a nivel nacional, contribuyendo con el 19.43% del total (Portero, 2014).



## **2.4. El cóleo (*Plectranthus scutellarioides*)**

Nombre científico: *Plectranthus scutellarioides*.

Nombre común: cóleo, cretona, terciopelina.

Familia: Lamiaceae

### **2.4.1. Características generales**

*Plectranthus* es un género de la familia Lamiaceae, que comprende unas 150 especies de plantas herbáceas perennes, anuales y subarbustos perennifolios, oriundas de África y Asia tropical (Suva, Patel, y Sharma, 2016). Las hojas son opuestas, simples, pecioladas, cordiformes y generalmente dentadas, se destacan por la vistosa coloración de su follaje que va del amarillo al púrpura, del marrón al verde y en ocasiones hasta el escarlata con aureolas de color verde, morado y rojo, de ahí el que se comercialice exclusivamente por la belleza de su follaje (Arredondo, Ávila, y Muñoz, 2012) .

### **2.4.2. Usos del cóleo**

El principal uso de estas plantas, está en la jardinería, pero son recomendables para hacer experimentos gracias a su fácil cultivo y rápido crecimiento, se desconoce la composición química y sus propiedades farmacológicas, sin embargo, está documentado su uso ritual por los indios mazatecos del centro de México, las hojas recién recolectadas las fuman secas, se ha demostrado que algunas partes de estas plantas contienen principios psicoactivos (Torrez, 2010).

### **2.4.3. Cultivo del cóleo**

**Sustrato y Abonado:** No es una planta muy exigente, suele recomendarse sustrato ácido. Turba con arena y abono, necesita aporte de abono completo, especialmente abundante en época de crecimiento y floración. Una planta con un penacho de hojas en la punta y desnuda de hojas en la parte media y baja del tronco probablemente necesita con urgencia abono (Suva et al., 2016).



***Multiplicación:*** La reproducción de variedades comerciales suele realizarse por semilla, la germinación se produce aproximadamente a las dos semanas en 10-12 días a 20-22 ° C, el número de semillas por gramo es de aproximadamente 4300, la multiplicación por estaca herbácea, consiste simplemente en cortar los extremos de las ramas entre 5-15 cm, el enraizamiento se produce con facilidad a los 10-15 días (Arredondo et al., 2012).

## **2.5. Sustrato de cultivo**

Un sustrato es el material sólido natural, de síntesis o residual, orgánico o mineral, puro o mezclado que en un contenedor permite el anclaje al sistema radical, da soporte a la planta e interviene en su nutrición (Liu, 2015). La calidad del sustrato es un factor principal para el éxito de un cultivo en contenedor: el sustrato debe almacenar y suministrar agua y nutrientes y permitir la aireación de las raíces. Las plantas cultivadas en contenedor disponen de un volumen limitado donde desarrollar un sistema radical, lo que obliga a efectuar riegos frecuentes y una programación adecuada de fertilización, como puede resultar lógico, no existe un sustrato ideal para la producción de plantas, puesto que las necesidades varían según muchas condiciones: especie, clima, aspectos económicos, tipo de envase, programas de riego fertilización (Gayosso et al., 2016).

### **2.5.1. Tipos de sustratos**

Un material utilizado como sustrato puede utilizarse en estado puro o en mezcla con otros materiales, las materias primas para sustrato pueden ser inorgánicas y orgánicas (Gayosso et al., 2016). Los inorgánicos son materiales minerales no biodegradables, los materiales orgánicos a diferencia de los inorgánicos, suelen necesitar de un proceso de estabilización para reducir la actividad microbiana y la fitotoxicidad, el tratamiento más común que se lleva es el compostaje, recientemente se ha implantado la carbonización (Liu, 2015).



Entre los sustratos más utilizados tradicionalmente para cultivos en contenedor se encuentra la turba gracias a su estabilidad química y su baja degradación (Álvarez et al., 2016). La turba se extrae de las turberas, que son ecosistemas considerados hábitats naturales de gran fragilidad y que requieren conservación, por el papel que cumplen las turberas como sumideros de carbono, el carácter difícilmente renovable y el alto coste que requiere la importación de turba, es necesario la búsqueda de materiales alternativos para sustituirla, especialmente los procedentes de residuos y subproductos orgánicos, más ecológicos y con precios bajos (Cueto, 2016; Yuan, 2019). Estos materiales incluyen, por ejemplo, compost, cortezas, madera, fibra de coco, y otros productos orgánicos, tales como los resultantes de la pirólisis y la carbonización hidrotermal de materias y residuos vegetales (Yuan, 2019).

El compostaje se puede definir como el proceso de degradación aerobia de residuos orgánicos que se produce de forma natural por los microorganismos presentes en el propio residuo cuando está expuesto al oxígeno, la utilización de productos orgánicos como el compost para la elaboración de sustratos permite el aprovechamiento de residuos orgánicos (Zulfiqar, 2019). El compost suelen presentar altos valores de porosidad y baja capacidad de retención de agua, alto contenido de nutrientes como N-P-K y alta salinidad, la conductividad eléctrica es un factor importante si se usa como sustrato para plantas ornamentales (Liu, 2015).

Sin embargo, el compost suele requerir de mezcla con otros materiales, generalmente pobres de nutrientes, sea después del compostaje o durante el proceso, esto es necesario para mejorar las propiedades físicas químicas del compost para el cultivo en contenedor (Trupiano et al., 2017).

### **2.6. Propiedades del suelo**

El potencial hidrogeno o pH es una propiedad química del suelo que tiene un efecto importante en el desarrollo de los seres vivos, la lectura del pH se refiere a la concentración de



iones hidrógeno activos ( $H^+$ ) que se da en la interfaz líquida del suelo, por la interacción de los componentes sólidos y líquidos, se expresa por números positivos del 0 al 14, con tres posibilidades: acidez, neutralidad, y alcalinidad (Naranjo, 2017). Los niveles deseados de pH varían con respecto a la planta ornamental, recordando que el pH en macetas puede cambiar de 1 a 2 unidades en 1 a 3 semanas, según las normas de interpretación general de propiedades químicas de sustratos un pH es considerado bajo de 3 a 4, adecuado de 5 a 6 y alto  $>7$  (Cabrera, 1999).

La MO está compuesta por sustancias que contienen carbono como resto de animales y plantas, con diferentes etapas de descomposición gradual a causa de transformación química, física y biológica en donde el carbón pirogénico es la fracción más recalcitrante, la cantidad presente en el suelo tiene influencia en las propiedades hidrofísicas, los niveles de MO en el centro de experimentación INIAP se consideran en unidad de porcentaje, un valor menor al 3 % es considerado bajo, 3-5 % medio y  $> 5$  % es alto (Naranjo, 2017).

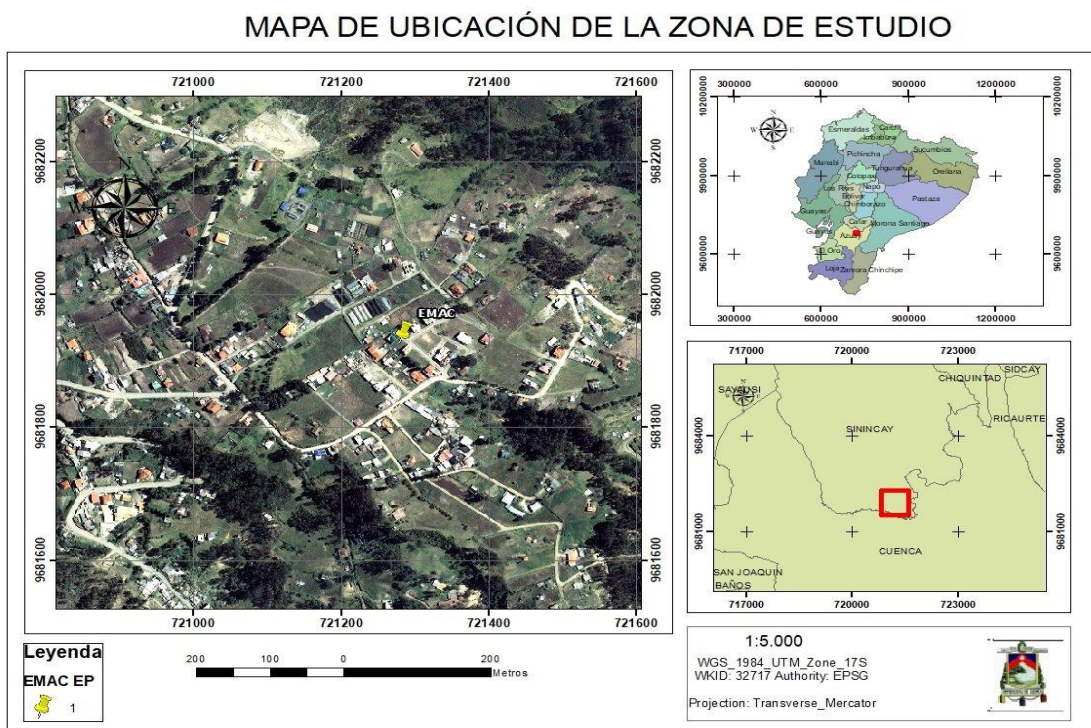
La conductividad eléctrica nos permite establecer el contenido de sales solubles presentes en el suelo, las cuales en altas concentraciones tiene efectos negativos para los cultivos causando toxicidad (León, 2016). Las plantas en general crecen de manera adecuada con una conductividad eléctrica de 1 a 2 dS/m, arriba de 2dS/m solo las plantas vigorosas se desarrollan bien, y desde los 4dS/m empieza a disminuir el rendimiento de la mayoría de las plantas (Martínez, 2015). La concentración de sales solubles en el suelo es un parámetro bastante variable, en macetas puede presentar problemas crónicos de 1 a 4 semanas es muy sensible a los procesos de mineralización de la MO y a pérdidas por lixiviación a absorción de nutrientes (Romero, 2017).

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Zona de Estudio

La investigación experimental, fue realizada en dos escenarios, la una a nivel de campo y la otra a nivel de laboratorio en la Facultad de Ciencias Agropecuarias.

Se desarrolló en la ciudad de Cuenca, perteneciente a la provincia del Azuay. La validación del cultivo de cóleos se emplazó en el vivero de la empresa pública municipal de aseo de Cuenca (EMAC), localizada en el sector Yanaturo ubicado en la vía al Carmen de Lazareto a 2750 msnm.



**Figura 1.** Mapa de la ubicación del lugar donde se desarrolló el proyecto



### 3.2. Producción de biochar a partir de residuos de eucalipto

El biochar utilizado en este estudio fue producido a partir de residuos de eucalipto recolectado de un taller de madera ubicado en San José de Balzay.

El equipo de pirólisis consistió en una cámara cúbica de aproximadamente 50 x 50 x 50 cm, aislada térmicamente, con una entrada para gas inerte (nitrógeno) y una salida de gases de pirólisis. El calentamiento fue efectuado mediante resistencias eléctricas. Para la operación contó con una válvula de regulación en el tanque de nitrógeno, seguida de una válvula de aguja para una regulación más precisa del flujo de nitrógeno a la entrada del equipo. El flujo se midió mediante un flujómetro. El control de la temperatura fue posible gracias a un controlador de temperatura acoplado a un sistema de Termocuplas. La calibración del equipo se efectuó con la ayuda de un termómetro infrarrojo.



**Figura 2.** Horno semiindustrial utilizado en la pirólisis.





Se realizó una prueba piloto para determinar la influencia de distintas variables como temperatura (calentamiento y enfriamiento), presión, tiempo de residencia y cantidad de biomasa.

Para la producción de biochar primero se pesó dos muestras de residuos de eucalipto de 175g utilizando una balanza (marca BOECO), estas muestras fueron colocadas en bandejas aptas para la introducción al equipo de pirólisis, luego se conectó el flujo de nitrógeno (2 litros/min). Se conectó el horno y se encendió el equipo, finalmente se programó la temperatura a 400 °C.

El tiempo para alcanzar esta temperatura fue de 30 min, una vez alcanzado la temperatura programada las muestras permanecieron una hora en el horno, concluida la hora se apagó el horno, pero se mantuvo el flujo de nitrógeno para evitar la entrada de oxígeno, el cual a altas temperaturas del experimento puede provocar reacciones indeseables. Después de realizar la pirólisis, se dejó enfriar el equipo por 5 horas a temperatura ambiente, para proceder a medir los pesos del biochar.

Se realizaron diferentes corridas con muestras de aproximadamente 175 g de viruta. En total se produjeron 2000 g de los cuales 1875 g fueron utilizados para el ensayo en campo y el restante para análisis de propiedades químicas. El biochar fue triturado de forma manual colocándolo en un saquillo, para su posterior uso en el campo. Las dosis de biochar fueron pesadas y dispuestas en bolsas plásticas para cada uno de los tratamientos y sus repeticiones, insertando en cada una de ellas con la debida codificación como se muestra en la (Tabla 1).



**Figura 3.** Material antes y después del proceso de pirólisis.

### 3.2.1. Cantidad de biochar para el cultivo

Las dosis de biochar usadas para la validación en campo se expresan en la siguiente (Tabla 1).

**Tabla 1.** *Requerimiento total de biochar para el cultivo*

Dosis biochar (%)	Dosis biochar(g)	Número de plantas	Total Tratamiento (g)
0%	0	20	0
2%	7.5	20	150
5%	18.75	20	375
8%	30	20	600
10%	37.5	20	750
Total			1875

### 3.3. Desarrollo experimental del cultivo de cóleo con biochar

Una vez obtenido el biochar se procedió a realizar la investigación con el cultivo de cóleo para lo cual se realizaron las siguientes actividades: corte y preparación de estacas, preparación del suelo base, llenado de macetas, riego y toma de datos.

#### 3.3.1 Corte y preparación de estacas

De las plantas madre se seleccionó los tallos que presentaban un diámetro de 2 a 3 mm, una vez seleccionados los tallos se procedió a preparar las estacas de 4 a 5 cm de longitud,

procurando que todas tengan por lo menos dos nudos. Con una podadora bien afilada se realizó un corte limpio y recto debajo de la yema inferior, se dejó parte de las hojas de las yemas terminales, con el propósito de reducir la deshidratación de la estaca. Se enterró 2 cm en el sustrato de las bandejas germinadoras de capacidad de 2 x 5 cm y se protegió con una cubierta plástica para evitar la deshidratación de la estaca como se observa en la (Figura 4).



**Figura 4.** a) Plantas madres; b) estacas; c) plántulas de cóleos en bandejas germinadoras

### 3.3.2. Preparación del suelo base

El material utilizado para este estudio procede de la empresa EMAC se realizó una mezcla base que tuvo (3 partes de tierra, 2 de arena y 2 de compost) esta relación lo utiliza la empresa para la reproducción de plantas ornamentales. El material se dejó secar a la sombra durante quince días para proceder a cribar utilizando una malla 5 mm como se aprecia en la (Figura 5).



**Figura 5.** a) Preparación del suelo base.

### **3.3.3. El llenado de macetas:**

Se prepararon cinco tratamientos a partir de la utilización del suelo base y biochar, los mismos que tuvieron la siguiente especificación: mezclas volumétricas de suelo base y biochar en relación 100:2, 100:5, 100:8, 100:10, es decir por cada 100 g de suelo base se adiciono 2, 5, 8 y 10 g de biochar respectivamente como se observa en la (Figura 6) (Housley, Kachenko, y Singh, 2015).

Se utilizaron 100 macetas de 1 litro de capacidad, las mismas que fueron rellenas de la siguiente manera: 20 con 375 g de suelo, 20 con suelo y biochar en relación de 100:2, para lo cual el cada maceta se colocó 367.5 g de suelo y 7.5 g biochar, 20 macetas con suelo y biochar en relación 100:5 en las que se colocó 356.2 g de suelo y 18.75 g de biochar, 20 macetas con suelo y biochar en relación 100:8 en las que se colocó 345 g de suelo y 30 g de biochar, y 20 macetas con suelo y biochar en relación 100:10 en las que se colocó 337.5 g de suelo y 37.5 g de biochar. En el fondo de la maceta se colocó grava fina con la finalidad de tener un buen drenaje,

después de haber llenado las macetas correspondientes a cada tratamiento, cada maceta se humedeció a capacidad de campo.

La siembra del cultivo se realizó el día miércoles 3 Julio del 2019, de acuerdo al protocolo establecido, se realizó el trasplante de una plántula de cóleo por maceta, debajo de cada maceta se colocó un platillo plástico para evitar el drenaje de lixiviados como se observa en la (Figura 6 c).



**Figura 6:** a) mezclas del suelo base con el biochar; b) Llenado de las macetas con las mezclas de suelo y biochar; c) Siembra de plantas de cóleos

### 3.3.4. Labores culturales

#### *Riego*

El riego se realizó manualmente con una jarra milimetrada sobre todas las unidades experimentales con el objeto de mantener el sustrato ligeramente húmedo; se regó dos veces a la semana evitando en lo posible el exceso de agua para que las plantas no se pudran. El cóleo es una planta que requiere riegos frecuentes, pero poco abundantes.



A todas las plantas del ensayo se les proporcionó el mismo volumen de agua, distribuido de la siguiente manera:

**Tabla 2.** *Distribución del riego*

Fecha	Riego	Volumen ml/maceta
06-jul-19	Riego 1	150
10-jul-19	Riego 2	55
13-jul-19	Riego 3	55
17-jul-19	Riego 4	55
20-jul-19	Riego 5	50
24-jul-19	Riego 6	50
27-jul-19	Riego 7	50
03-ago-19	Riego 8	50
07-ago-19	Riego 9	60
10-ago-19	Riego 10	60
14-ago-19	Riego 11	70
17-ago-19	Riego 12	50
21-ago-19	Riego 13	40
24-ago-19	Riego 14	40
28-ago-19	Riego 15	50
31-ago-19	Riego 16	50
04-sep-19	Riego 17	50
07-sep-19	Riego 18	100
11-sep-19	Riego 19	60
14-sep-19	Riego 20	50
18-sep-19	Riego 21	50
21-sep-19	Riego 22	50
Total		1295

### 3.4. Diseño experimental

En esta investigación se realizó un total de cinco tratamientos y 5 réplicas organizadas en cuatro bloques al azar ver (Tabla 3). Este diseño permite realizar comparaciones precisas entre los cinco tratamientos del estudio, además de reducir y controlar la varianza del error experimental para tener mayor precisión. Se utilizaron 100 macetas o unidades de evaluación que conformaron los cinco tratamientos del ensayo del cultivo de cóleos durante el ciclo de cultivo se



midió la altura de la planta, número y tamaño de hojas, diámetro del tallo y al final del cultivo se valoró la biomasa aérea y radicular y se comparó los tratamientos T1, T2, T3, T4 y T5.

**Tabla 3.** *Diseño de bloques al azar que se aplicó para el cultivo de cóleos.*



T1= testigo; T2 = 2% de biochar; T3= 5 % de biochar; T4= 8% y T5= 10%; B= bloques

### 3.5. Variables

Las variables estudiadas se muestran en la (Tabla 4).

**Tabla 4.** *Variables de estudio*

<b>Tipo de variable</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>
<b>Dependiente</b>	altura de la planta	cm
	diámetro de tallo	mm
	numero de hojas	Unidad
	tamaño de hojas	cm <sup>2</sup>
	peso de la raíz	g
	contenido de N, P	ppm
	contenido de K, Ca, Mg.	meq/100ml
	M.O.	%
	pH	adimensional
	C.E	mS/m
	densidad aparente	g/cm <sup>3</sup>
	punto de saturación	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>
	capacidad de campo	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>
	punto de marchitez	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>
	agua disponible	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>
<b>Independiente</b>	dosis de biochar	2%,5%,8% y 10 %

Las variables de estudio del experimento son variables dependientes, ya que se considera que el desarrollo de las plantas depende de la cantidad de biochar que se incorpore al suelo en los diferentes tratamientos y de cómo este modifique las propiedades físicas y químicas del suelo. La forma en que se realizó la medida de cada una de estas variables se explica a continuación.

### **3.6. Evaluación de las plantas de cóleos**

La evaluación del crecimiento de las plantas se realizó tomando medidas directamente sobre las plantas cultivadas. Al inicio de la siembra (3 días después de la siembra) y luego a los 90 días después de la siembra. Se evaluaron las variables: altura, número y tamaño de hojas, diámetro de tallos, biomasa aérea y radicular (estas dos últimas se midieron solo después de la siembra).



### **Altura de la planta (cm)**

Se consideró 20 plantas por tratamiento, se utilizó una regla de plástico transparente de 30 cm, se midió desde la base del tallo hasta la el último par de hojas formadas y el valor resultante se presentó en cm.

### **Numero de hojas (unidad)**

Se evaluó este parámetro haciendo un conteo de las hojas verdaderas es decir las completamente formadas y se midió 20 plantas por tratamiento.

### **Tamaño de las hojas (cm<sup>2</sup>)**

Se midió el largo (desde la base hasta el ápice de la hoja) por el ancho de la hoja, se midió 20 plantas por tratamiento, de las cuales en cada planta se seleccionaron 5 hojas y se realizó un promedio.

### **Diámetro de tallo (mm)**

Con un calibrador vernier se midió el diámetro de 20 plantas, se midió a 1 cm de la base del tallo.



**Figura 7.** A) altura inicial de la planta, B) tamaño de hojas, C) diámetro de tallo

### **Biomasa aérea seca y radicular (g)**

El muestreo fue destructivo se escogió al azar 10 plantas por tratamiento. Se realizó un lavado de los residuos presentes en las plántulas. Se cortó las plántulas a nivel de la base del tallo para separar la parte aérea (tallo y hojas) y la parte subterránea por separado, se pasó el suelo contenido en cada tiesto por un tamiz de 5 mm de malla, disgregando con suavidad los grumos, para retener el máximo de raíces posible en el tamiz. Se dejaron lo más limpias posibles. Para la determinación del peso seco, las muestras fueron colocadas en fundas de papel y se colocó en la estufa a 70 °C durante 48 horas.



**Figura 8.** Muestras de plantas al final del experimento

### **3.7. Análisis físico-químicos**

Se realizaron análisis fisicoquímicos del suelo en el laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias dos veces durante el tiempo de cultivo (antes de la siembra y 3 meses después de la siembra). El primer muestreo se realizó 5 días antes de la siembra. Se tomó una



muestra compuesta de cada tratamiento, cada muestra estaba formada por 10 sub muestras obtenidas a diferentes profundidades. El segundo muestreo se realizó 90 días después de siembra y con la misma metodología del primer muestreo.

Las siguientes variables fueron determinadas en el laboratorio

a) La determinación del pH se realizó en una suspensión suelo: agua 1:2.5 (p/v) se pesaron 20 g de suelo tamizado a 2mm y se añadió 50 cc de agua destilada, las muestras fueron agitadas durante 15 minutos, luego fue filtrado utilizando un papel filtro y para la medición se utilizó con un pHmetro.

b) La estimación del contenido de la MO total se realizó por calcinación, para ello se pesaron muestras de 10 g de suelo previamente tamizadas a 2 mm y secadas en estufa a 105 °C. Estos se colocaron en crisoles de cerámica, en una mufla a 400 °C durante 8 horas. Una vez enfriados los crisoles, se pesaron y se calculó la pérdida de peso respecto al inicial.

c) La determinación de la conductividad eléctrica se realizó en una suspensión suelo agua de 1:5 (p/v) es decir se pesó 10 g de suelo y se añadió 50 cc de agua destilada, las muestras fueron agitadas durante 15 minutos, se realizó el filtrado y la medición se realizó con un conductímetro respectivamente, ajustando automáticamente la medida a 25 °C. Fue necesario filtrarlo para eliminar los sólidos en suspensión antes de la determinación de la conductividad.

d) Para la determinación de la densidad aparente se recolectó muestras inalteradas con anillos Kopecky (100 cm<sup>3</sup>), se introdujo cuidadosamente en la mitad de la maceta golpeando con el martillo de goma para que la muestra no se mezcle. Los anillos con muestra se colocaron en la estufa a 105°C durante 24 horas, transcurrido este tiempo se pesó la muestra y el anillo y se obtuvo la densidad aparente mediante la siguiente fórmula.



$$Da = \frac{(\text{Peso seco de la muestra} + \text{anillo}) - (\text{peso del anillo})}{\text{volumen del anillo}}$$

### 3.8. Análisis hidrofísico

a) Las muestras inalteradas (anillos Kopecky) fueron registradas al ingresar al laboratorio, se retiraron las tapas que protegían la muestra, cuidadosamente se limpió la superficie de los anillos evitando la pérdida de suelo y finalmente las muestras fueron enraizadas.

b) En el bisel del anillo se dispuso una tela nylon sujeta con una liga como medida de protección, las muestras inalteradas fueron ubicadas en bandejas y paulatinamente se agregó agua hasta alcanzar un nivel de 4 cm permaneciendo en este estado durante cuatro semanas. Después del tiempo establecido las muestras alcanzaron su punto de saturación, con cautela se secó el exceso de agua de la parte externa de los anillos y se procedió a pesarlos incluyendo telas y ligas; este procedimiento permitió el cálculo del contenido de agua del suelo sometido a pF 0.

c) Para pF 2,52 o capacidad de campo (CC) se utilizó placas de cerámica (previamente saturadas) de extractores de presión, sobre la placa de cerámica se esparció pasta saturada de material limoso con el objetivo de obtener un mejor contacto entre la muestra y la placa, en seguida se ubicaron los anillos en las placas preparadas y en el fondo de los extractores de presión se colocó un recipiente con agua para evitar la pérdida de humedad por transpiración. Por último, estas placas fueron colocadas dentro de los extractores de presión de forma adecuada y se procedió a cerrarlos. Por consiguiente, se utilizó el sistema de válvulas del equipo y se estableció la presión correspondiente a pF 2,52 (0.33 bares). Después de 7 días se determinó el peso de los anillos con muestra, posteriormente se procedió a secar las muestras a 105 °C durante 24 horas para determinar el peso seco del suelo.



d) Para pF 4,2 o punto de marchitez (PM) con la muestra alterada de cada tratamiento, fue tamizada (tamiz de 2 mm). Posteriormente la muestra tamizada fue mezclada y continuamente se añadió agua hasta conseguir una pasta de consistencia cremosa y brillante, la cual se mantuvo en reposo por 48 horas. Luego de este periodo se dispuso la pasta en los anillos de PVC previamente codificados (1cm de alto x 4.6 cm de diámetro) estos fueron ubicados sobre la placa de cerámica saturada de 15 bares para disponerla con facilidad en el extractor y nuevamente con el sistema de válvulas se estableció la presión requerida de pF 4,2 cabe recalcar que los anillos permanecieron en los extractores durante 7 días, estas fueron pesadas y en secuencia fueron introducidas en la estufa a 105°C por el lapso de 24 horas, por último se pesaron las muestras. Estos datos fueron registrados en fichas con la finalidad de realizar cálculos posteriores.

e) El agua aprovechable (AA) es la cantidad de agua retenida en el suelo entre la capacidad de campo (pF 2,52) y punto de marchitez permanente (pF 4,2) siendo la principal fuente de agua para el desarrollo de la planta.

### **3.9. Análisis Químicos**

Para determinar las propiedades químicas como: N, P, K, Ca, Mg, se tomó 300 g de una muestra alterada compuesta por 10 submuestras de cada tratamiento con su respectivo código, y fueron enviadas al laboratorio de INIAP en Gualaceo.

A continuación, en la (Tabla 5) se enumeran los parámetros que fueron determinados con sus métodos estandarizados.



**Tabla 5. Análisis químico**

<b>Variables</b>	<b>unidad</b>	<b>Método</b>
<b>Nitrógeno</b>	(ppm)	colorimétrico
<b>Fósforo</b>	(ppm)	colorimétrico
<b>Potasio</b>	(meq/100ml)	absorción atómica
<b>Calcio</b>	(meq/100ml)	absorción atómica
<b>Magnesio</b>	(meq/100ml)	absorción atómica

### **3.10. Análisis estadísticos**

Se utilizaron pruebas de normalidad de Shapiro –Wilk (determinación de la distribución normal en la población) y homogeneidad de varianza de Levene. Para aquellas variables que presentaron normalidad se usó ANOVA y si presentaron diferencias entre los grupos se les realizó una prueba HSD de Tukey. Para los datos de las variables que no cumplieron con la normalidad se usó la prueba de Kruskal-Wallis con el fin de evaluar si existían diferencias entre los tratamientos.

Los análisis se realizaron en el software R. Adicionalmente se usó el análisis de componentes principales para relacionar las variables fisicoquímicas con las dosis de biochar. El nivel de significancia en todas las pruebas estadísticas fue de 0.05.

Para determinar la influencia de la dosis de biochar sobre las propiedades hidrofísicas y químicas del suelo, y el desarrollo de las plantas de coléos se recurrió al Análisis de Componentes Principales (ACP o como se conoce habitualmente por sus siglas inglesas PCA). Esto es debido a que esta técnica trabaja con datos cuantitativos y los nuestros lo son.

Se seleccionó el ACP de tipo R (en función de los coeficientes de correlación), ya que este permite trabajar con variables que presentan magnitud y unidades de medidas diferentes. Los



datos fueron tratados de forma conjunta y a todas las variables y a todos los individuos (dosis de biochar) se les dio la misma importancia.

El análisis de componentes principales es una técnica de reducción de la dimensión que describe la información de un conjunto de variables observadas mediante un conjunto de variables más pequeño (las componentes principales) que son combinaciones lineales de las variables de partida. Las nuevas variables (componentes principales) son incorreladas y se obtienen en orden decreciente de importancia. El primer componente, asociado con el mayor auto valor, representa el máximo del total de la varianza. El segundo componente es la segunda combinación lineal, no correlacionado con el primero, que representa la máxima varianza residual, y así sucesivamente, hasta contabilizar totalmente la varianza. Es deseable que un pequeño número de componentes expliquen un gran porcentaje de la varianza total, es decir, que el conjunto de los datos pueda ser descrito en un menor espacio dimensional (Camacho et al., 2010).

## 4. RESULTADOS Y DISCUSION

### 4.1 Resultados de la producción del biochar

Escalante et al. (2016) indica que cuando se usan tecnologías de alta eficiencia para la producción de biochar, es posible alcanzar rendimientos del 30-40 %, estos resultados concuerdan con nuestro trabajo ya que se obtuvo un rendimiento promedio del 30%.

En la (Tabla 6) se puede apreciar el resultado de las propiedades químicas del análisis de laboratorio, el biochar tuvo un pH de 4.9 interpretado como muy ácido, este resultado no concuerda con Iglesias et al., (2018), quien señala que el biochar producido a partir de residuos de eucalipto son alcalinos con pH superior a 7 tras la pirólisis. Los valores de N, P y Mg son bajos, sin embargo, el K y Ca son altos según los valores óptimos del laboratorio de suelos del INIAP.

**Tabla 6.** Resultados del análisis del biochar a partir de residuos de eucalipto

<b>Variables</b>	<b>unidades</b>	<b>resultados</b>	<b>interpretación</b>
<b>Nitrógeno</b>	ppm	9.72	bajo
<b>Fósforo</b>	ppm	32	bajo
<b>Potasio</b>	meq/100ml	0.96	alto
<b>Calcio</b>	meq/100ml	3.44	alto
<b>Magnesio</b>	meq/100ml	0.81	bajo
<b>pH</b>	meq/100ml	4.9	Muy ácido

Fuente: Laboratorio de Suelos, Plantas y Aguas. EEA, INIAP 2019

### 4.2. Rendimientos del cultivo de cóleos con biochar

El objetivo principal de esta tesis fue evaluar la respuesta de cóleos después de aplicar enmiendas edáficas con biochar obtenido a partir de biomasa residual de eucalipto, además evaluar los efectos del biochar sobre las propiedades del suelo y como estos cambios influyen en





el desarrollo y crecimiento de las plantas de cóleos. A continuación, se presenta la respuesta de las plantas de cóleos.

### Análisis exploratorio de datos

Obtenido los valores con el test de Shapiro Wilks (Tabla 7) y Levene (Tabla 8) se determinó que todas las variables de la planta son normales.

**Tabla 7.** *Prueba de normalidad Shapiro-Wilks para evaluación de la planta*

Variables	Shapiro-Wilk	
	W	P<0.05
Altura	0.97	0.028
Número de hojas	0.98	0.579
Tamaño de hojas	0.98	0.257
Diámetro	0.977	0.084
Biomasa aérea	0.98	0.573
Biomasa radicular	0.96	0.154

**Tabla 8.** *Prueba de homogeneidad de varianza Levene para evaluación de la planta*

Variable	gl	gl	F	P
Altura	95	4	1.521	0.202
Número de hojas	95	4	0.531	0.713
Tamaño de hojas	95	4	0.38	0.8213
Diametro	95	4	1.03	0.39
Biomasa aérea	45	4	0.247	0.909
Biomasa radicular	45	4	1.66	0.17

#### 4.2.1. Altura de plantas

En la variable altura, el ANOVA indica que hay diferencia estadísticamente significativa al comparar los diferentes tratamientos (4 dosis de biochar y un testigo). Al realizar la comparación múltiple con Tukey HSD se obtuvieron 3 rangos. El tratamiento T5 pertenece al rango a, el tratamiento T4 y T3 pertenece al rango ab y el tratamiento T1 pertenece al rango b (ver la Tabla



9). Estos resultados concuerdan con Zulfiqar, (2019) quien al adicionar biochar y compost en un 10 % v/v aumentó de un 10 a 30% el crecimiento vegetativo de *Dracaena deremensis*, por su parte Dispenza, De Pasquale, Fascella, Mammano, y Alonzo (2016) evaluaron la producción de *Euphorbia x lomi* al añadir un 60% de biochar se registró un mayor número de brotes y hojas, área foliar y peso seco de las hojas en plantas. De igual manera al mezclar biochar a partir de restos de poda con la fibra de coco en un rango de 10% v/v en la *Calendula officinalis* y *Petunia x hybrid* hubo un mejor crecimiento que el control (Álvarez 2018)

Jaiswal, Elad, Graber, y Frenkel, (2014) evaluaron el efecto de biochar de viruta de eucalipto en plantas de pepino al aplicar a una mezcla para macetas 0.5, 1 y 3% la variable altura de planta presentó una diferencia estadística con respecto a su control.

#### **4.2.2. Número de hojas**

El número de hojas es una variable que indica el nivel de actividad fotosintética de la planta, por ende, el desarrollo de la misma. Al realizar el análisis de varianza (ver Tabla 9), los resultados demuestran que no existen diferencias entre los tratamientos.

#### **4.2.3. Tamaño de las hojas**

En la variable tamaño de hojas, el análisis de varianza ANOVA indica que hay diferencia significativa entre los tratamientos evaluados con un valor de ( $p < 0.032$ ), la comparación múltiple con Tukey se obtuvieron 3 rangos, el tratamiento T2, T5 pertenece al rango a, el tratamiento T3 y T4 pertenece al rango ab y el tratamiento T1 pertenece al rango b (ver Tabla 9), varios estudios han producido resultados interesantes al combinar el compost con biochar, como por ejemplo el mejor crecimiento de *Calathea insignis* se lograron cuando se modificó los desechos verdes compostados con las combinación de 20% de biochar y 0.7% de ácidos húmicos, el peso fresco del brote, el peso fresco de la raíz, la altura de la planta, el ancho de hojas,



el número de hojas y la longitud total de la raíz obtenida aumentaron con respecto al control (Zhang, Sun, Tian, y Gong, 2014)

#### **4.2.4 Diámetro de tallos**

Para este análisis se encontró diferencia significativa ( $p = 0.000012$ ) en los tratamientos, donde se hace presente diferencias para el diámetro de tallo. Al realizar la comparación múltiple con Tukey se obtuvo 2 rangos. El tratamiento T5, T4, T3, T2 pertenece al rango a, y el tratamiento T1 pertenece al rango b (ver Tabla 9). Estos resultados demuestran que el diámetro de tallo fue mayor para los tratamientos con biochar, datos que han sido comparados con los del trabajo realizado por Vaughn, Kenar, Thompson, y Peterson, (2013) quienes al cultivar la caléndula (*Tagetes erecta L.*) en macetas sustituyendo biochar a tasas de 5,10 y 15% v/v la altura y diámetro de las plantas fueron mayores que el control en todos los tratamientos excepto el 5%.

#### **4.2.5. Biomasa aérea seca**

En la variable biomasa aérea, el ANOVA indica diferencias estadísticamente significativas para los tratamientos aplicados sobre la variable considerada. Al realizar la comparación múltiple con Tukey se obtuvieron 3 rangos. El tratamiento T5 pertenece al rango a, y el tratamiento T4 y T3 pertenece al rango ab y el tratamiento T2 y T1 pertenece al rango b (ver Tabla 9). Estos resultados son similares a los encontrados en los análisis anteriores, altura de planta, tamaño de hojas y diámetro de tallo, para la biomasa aérea sobresale los tratamientos que tienen biochar, al igual que el trabajo realizado por Rondon, Lehmann, Ramírez, y Hurtado, (2007), quienes aplicaron biochar de eucalipto en tasas de 30, 60 y 90 g/kg a un suelo Oxisol arcilloso y evaluaron la biomasa del frejol común en macetas. Las adiciones de biochar aumentaron significativamente la biomasa de la planta al incrementarse la proporción de biochar, además estos resultados concuerdan con Olmo, (2016) en donde el biochar de poda de olivo promovió



generalmente el crecimiento de ocho especies estudiadas, lo que indica su idoneidad como enmienda para aumentar la producción de un amplio rango de especies. En el trabajo realizado por Yu, Huang, Guo, y Gu, (2019) mezclaron dosis de 5, 10, 15, 20, 25, y 30 % en volumen con dos sustratos corteza de pino y turba y se cultivó *Gomphrena*, hubo interacción entre el sustrato y biochar en la altura de la planta y el efecto del sustrato fue significativo para el peso fresco y seco de la planta el biochar podría reemplazar la corteza de pino o turba, del 5 a 30% sin un impacto negativo en el crecimiento de la planta.

En la investigación de Housley, Kachenko, y Singh, (2015) aplicaron biochar a partir de *Eucalyptus saligma* en cuatro dosis: 0, 2.5, 5 y 10% (p/p) en el crecimiento de *Eugenia (Acmena smithii)*, pensamiento (*Viola var. Hibrida*) y viola (*Viola wittrockiana*), los resultados mostraron que no hubo un efecto significativo en el peso seco de las tres especies usando biochar.

#### **4.2.6. Biomasa radicular seca**

En la biomasa radicular seca, se encontró diferencia significativa entre tratamientos ( $p = 0.02$ ), al realizar la comparación múltiple con Tukey se obtuvo 3 rangos. El tratamiento T5 pertenece al rango a, el tratamiento T2 y T1 pertenece al rango ab y el tratamiento T3 y T4 pertenece al rango b (ver Tabla 9). Nuestros resultados muestran que la adición de biochar aumentó la biomasa de la parte aérea con la adición de biochar, sin embargo no se encontró un efecto claro del biochar sobre la raíz, datos que han sido comparados con los de Abenza, (2012), en donde el aporte de biochar no ha tenido como consecuencia un mayor desarrollo del sistema radicular de las plantas de cebada.

**Tabla 9.** Resultados del ANOVA incluyendo sus medias y comparación de Tukey para las variables agronómicas de la planta de cóleo después de 3 meses bajo el efecto de la aplicación de diferentes dosis de biochar

Variable	Niveles de biochar					F	Prob.
	0% T1	2% T2	5% T3	8% T4	10% T5		
altura (cm)	6.87 ± 1.45 <sup>b</sup>	6.82 ± 1.35 <sup>b</sup>	7.2 ± 0.96 <sup>ab</sup>	7.37 ± 1.09 <sup>ab</sup>	8.2 ± 1.54 <sup>a</sup>	3.81	0.006**
número de hojas (unidad)	13.95 ± 5.17 <sup>a</sup>	13.4 ± 4.53 <sup>a</sup>	15.2 ± 3.92 <sup>a</sup>	15.1 ± 4.78 <sup>a</sup>	15 ± 4.31 <sup>a</sup>	0.64	0.631
tamaño de hojas (cm)	17.63 ± 7.04 <sup>b</sup>	23.97 ± 7.6 <sup>a</sup>	21.18 ± 6.71 <sup>a</sup>	21.9 ± 5.36 <sup>ab</sup>	23.96 ± 8.18 <sup>a</sup>	2.76	0.032*
diámetro de tallo (mm)	4.02 ± 0.78 <sup>b</sup>	5.2 ± 0.86 <sup>a</sup>	5.02 ± 0.78 <sup>a</sup>	5 ± 0.69 <sup>a</sup>	5.04 ± 0.59 <sup>a</sup>	8.1	0.000012***
biomasa seca aérea (g)	0.92 ± 0.32 <sup>b</sup>	0.97 ± 0.32 <sup>b</sup>	1.15 ± 0.24 <sup>ab</sup>	1.17 ± 0.3 <sup>ab</sup>	1.37 ± 0.29 <sup>a</sup>	3.55	0.0133*
biomasa seca radicular (g)	1.41 ± 0.49 <sup>ab</sup>	1.56 ± 0.74 <sup>b</sup>	1.34 ± 0.46 <sup>b</sup>	1.35 ± 0.59 <sup>b</sup>	2.18 ± 0.78 <sup>a</sup>	3.14	0.0231*

Los valores son las medias ± desviación estándar. \*poco significativo, \*\*medio significativo, \*\*\* muy significativo: T1= 0% de biochar, T2= 2% de biochar, T3= 5% de biochar, T4= 8% de biochar, T5= 10% de biochar. Medias con la misma letra no son estadísticamente diferente en cada fila, de acuerdo con la prueba de Tukey, ( $p < 0.05$ ).

#### 4.3. Resultados de las propiedades físico-químicas

Obtenido los valores con el test de Shapiro Wilks (Tabla 10) y Levene (Tabla 11) se determinó que todas las variables físico químicas son normales excepto la conductividad eléctrica.

**Tabla 10.** Prueba de normalidad Shapiro-Wilks para propiedades físico químicas antes y después de la siembra de cóleos.

Variables	antes		después	
	W	P < 0.05	W	P < 0.05
<b>pH</b>	0.89	0.13	0.88	0.11
<b>MO</b>	0.9	0.17	0.85	0.03
<b>CE</b>	0.64	<b>0.0001</b>	0.8	<b>0.003</b>
<b>Da</b>	0.89	0.14	0.94	0.63
<b>Ps</b>	0.9	0.16	0.92	0.32
<b>CC</b>	0.86	0.03	0.94	0.59
<b>PM</b>	0.9	0.18	0.88	0.09
<b>AD</b>	0.91	0.25	0.94	0.59

**Tabla 11.** Prueba de homogeneidad de varianza Levene para las variables físico-químicas

Variables	antes				después	
	gl	gl	F	P	F	P
<b>pH</b>	10	4	0.59	0.67	0.45	0.76
<b>MO</b>	10	4	0.84	0.52	0.9	0.49
<b>CE</b>	10	4	0.77	0.56	0.62	0.65
<b>Da</b>	10	4	0.23	0.91	0.61	0.66
<b>Ps</b>	10	4	0.432	0.782	0.28	0.88
<b>CC</b>	10	4	1.96	0.17	0.89	0.501
<b>PM</b>	10	4	2.08	0.15	1.17	0.37
<b>AD</b>	10	4	1.56	0.25	1.41	0.29

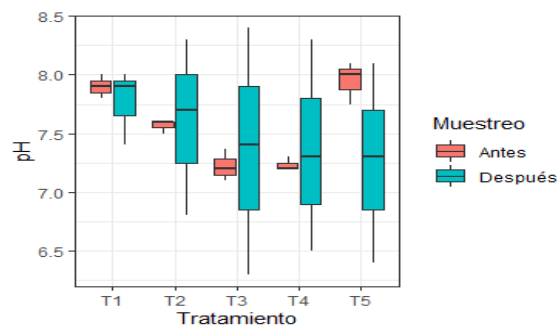
#### 4.3.1. pH del suelo

Para la variable pH se realizó la prueba de ANOVA (ver Tabla 12), en donde en el primer muestreo hay diferencia estadísticamente significativa entre tratamientos ( $p = 0.00002$ ), sin embargo después de la siembra no hay diferencia entre tratamientos (ver Figura 9), en este trabajo los valores promedios de pH en los tratamientos T1 y T2 presentaron un valor ligeramente alcalino antes y después del ensayo, los tratamientos T3 y T4 mantuvieron su pH prácticamente neutro antes y después, pero el T5 pasó de un valor ligeramente alcalino a

prácticamente neutro, según la prueba se ANOVA múltiple no hay cambios significativos al comparar antes y después de la siembra de cóleos, todos los tratamientos tuvieron un pH mayor que 7 es decir pH altos.

Nuestros resultados son similares a los obtenidos por Molina (2013), donde el testigo presentó el promedio más alto al final del experimento además Huang, Niu, Feagley, y Gu, (2019) mezclaron biochar con vermicompost en la relación 8:2 y 7:3 al evaluar el pH de las mezclas en la germinación de coleo, petunia, salvia, vinca los resultados fueron similares al testigo.

Mientras que los resultados son lo contrario a lo manifestado por Lehmann et al., (2011), que sostiene que la adición de biochar al suelo incrementa el pH, por lo que al seleccionar la materia prima para la elaboración de biochar se debe considerar lo manifestado por Lehmann et al. (2006), que señala que no todos los residuos agrícolas y forestales resultan adecuados para la producción de biochar debiendo ser cuidadosamente seleccionados para su uso en suelos de plantas ornamentales.

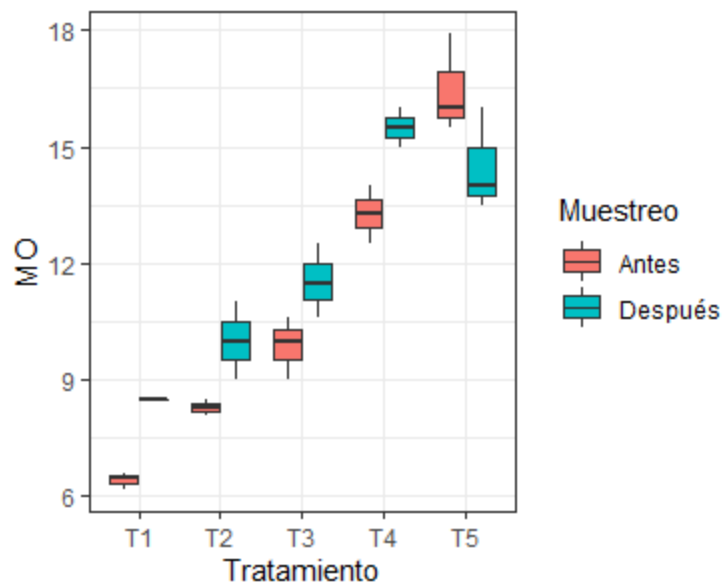


**Figura 9.** Variabilidad del pH de los diferentes tratamientos, antes y después de cultivo de cóleos: T1= 0% de biochar, T2= 2% de biochar, T3= 5% de biochar, T4= 8% de biochar, T5= 10% de biochar.

#### 4.3.2. Materia Orgánica del suelo

Los resultados del presente trabajo demuestran que el porcentaje de MO incrementa de manera proporcional a la dosis de biochar mientras más biochar incorporado mayor cantidad de MO como se observa en la (Figura 10). Al aplicar la prueba de ANOVA hay diferencias entre tratamientos antes ( $p=0.0000001$ ) y después de la siembra ( $p= 0.0000009$ ), también hay diferencias entre fechas de muestreo (0.001) (ver las Tablas 12 y 13).

El biochar añadido a tres tipos de suelos (Andosol, Spodosol y Molisol), a una tasa de 25 t /ha incrementó la MO de 5-7 % (Martínez, 2015), en el presente estudio se encontró que la MO en el tratamiento de 10% de biochar tuvo un 64% de aumento con respecto al control.

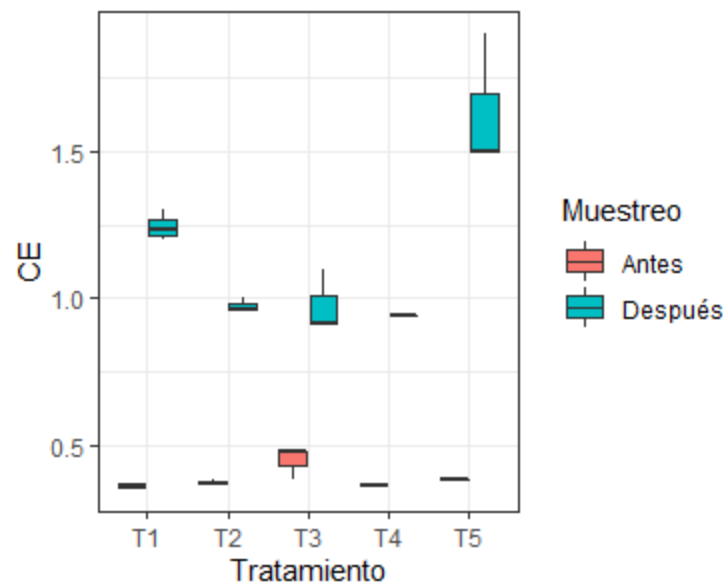


**Figura 10.** Valores de materia orgánica antes y después del ensayo T1= 0% de biochar; T2 = 2% de biochar; T3 = 5% de biochar; T4= 8% de biochar; T5= 10% de biochar.



#### 4.3.3. Conductividad eléctrica del suelo

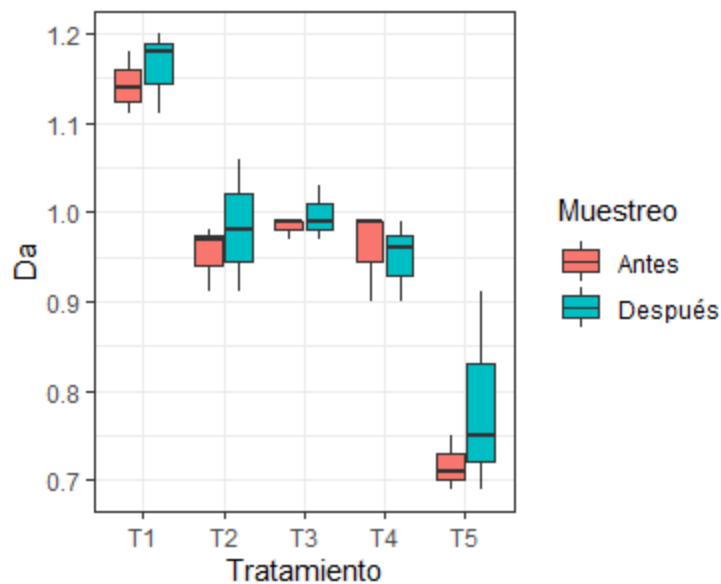
Los resultados de la prueba estadística Kruskal-Wallis demuestran que hay diferencias entre tratamientos antes y después de la siembra de cóleos (ver Tabla 14). Al comparar las fechas de muestreo, se ha producido un aumento de salinidad (ver Figura 11) tiene un ( $p = 0.0000027$ ) este dato es altamente significativo como se ve en la (Tabla 15). El biochar aumentó la conductividad eléctrica del suelo, pero los valores se mantuvieron dentro del rango óptimo, lo que concuerda con los resultados obtenidos por Olmo (2016), además Nigussie, Kissi, Misganaw, y Ambaw, (2012), en su estudio aplicaron biochar elaborado a partir del tallo de maíz a tasas de 0, 5 y 10 t/ha, el estudio mostró un incremento significativo en la conductividad eléctrica. Dispenza et al., (2016) adicionó biochar en un 60% aumentó el contenido de CE de los sustratos influenciando significativamente en el crecimiento y calidad de plantas en maceta de *Euphorbia x lomi*.



**Figura 11.** Valores de conductividad eléctrica antes y después del ensayo: T1= 0% de biochar, T2= 2% de biochar, T3= 5% de biochar, T4= 8% de biochar, T5= 10% de biochar.

#### 4.3.4. Densidad aparente

Entre los resultados más importantes que se extraen de forma consistente de esta tesis están la reducción de la densidad aparente (ver Figura 12), desde el punto de vista agronómico, la reducción de la densidad aparente favorece la aireación del suelo y aumenta la capacidad de infiltración de agua. Al realizar las pruebas estadísticas ANOVA se encontraron diferencias entre tratamientos antes y después de la siembra, pero no hay diferencias entre las fechas (ver Tabla 12 y 13). Estos datos si concuerdan con otros trabajos realizados por ejemplo los de Martínez, (2015), quién aplicó biochar en diferentes proporciones el cual disminuyó la densidad aparente de 1.14 a 0.99  $\text{mg/m}^3$  es decir un 13% menos.



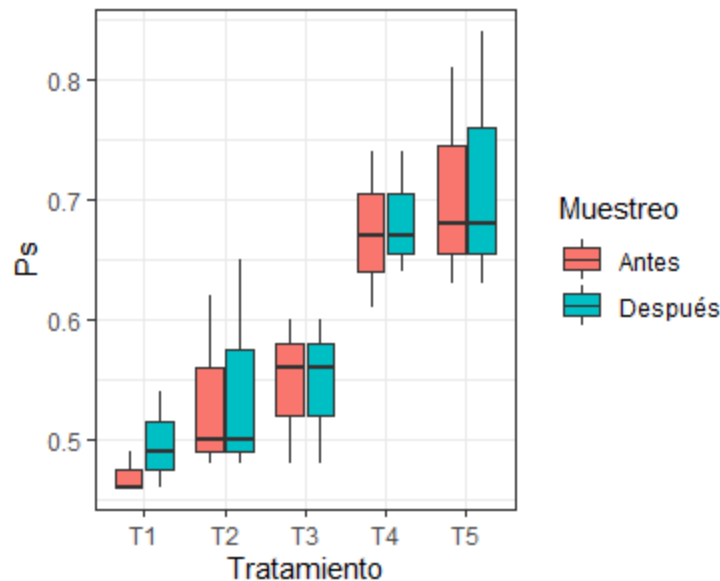
**Figura 12.** Valores de la densidad aparente antes y después del ensayo: T1= 0% de biochar, T2= 2% de biochar, T3= 5% de biochar, T4= 8% de biochar, T5= 10% de biochar.

#### 4.4. Resultados de las propiedades hidrofísicas

La retención de agua, la capacidad de campo, el punto de marchitez y agua disponible, permiten determinar las condiciones óptimas para el crecimiento, desarrollo y rendimiento de las plantas, pero sobre todo permite evaluar la disponibilidad de agua para el sistema radicular de la planta (Naranjo, 2017).

##### 4.4.1. Punto de saturación

Al realizar la prueba estadística ANOVA se encontraron diferencias entre tratamientos antes (0.007) y después de la siembra (0.01) (ver Tabla 12 y 13), pero no hay diferencias entre las fechas (ver Figura 13).

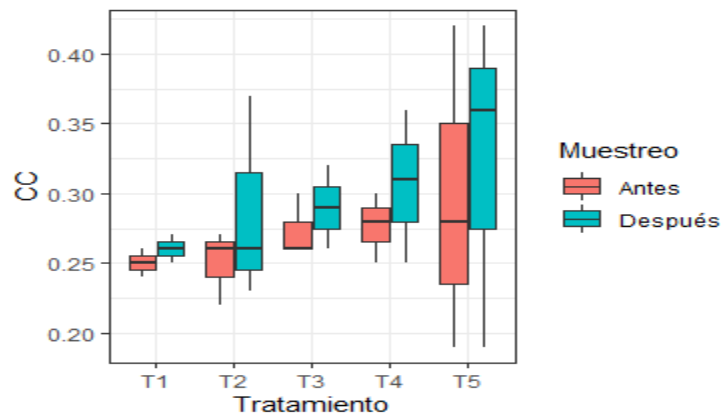


**Figura 13.** Valores de punto de saturación antes y después del ensayo: T1= 0% de biochar, T2= 2% de biochar, T3= 5% de biochar, T4= 8% de biochar, T5= 10% de biochar.

#### 4.4.2. Capacidad de campo

Una característica importante del suelo y relacionada a su vez con la densidad aparente es la capacidad de retención hídrica del suelo. Para el caso de CC el análisis estadístico no fueron significativos (ver Tablas 12 y 13), datos que no concuerdan con los obtenidos en otros estudios como Abenza, (2012), en su trabajo demostró que la incorporación de biochar mejoró la capacidad de retener agua, Netherton, (2013) en un experimento de campo simulando un cultivo de cebada enmendado con un biochar de pino a tasas de aplicación de 12 y 50 t/ha, encontró efectos positivos sobre las propiedades físicas evaluadas como son: el aumento la capacidad de retención de agua.

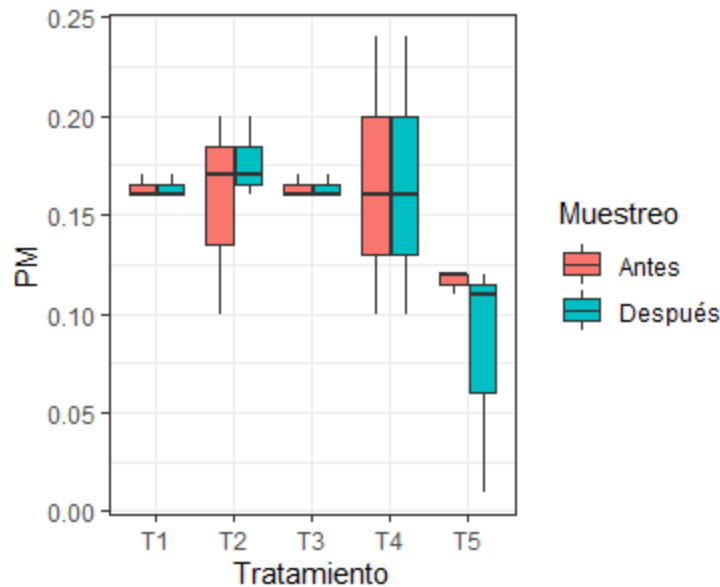
Un buen medio de crecimiento para *Calathea insignis* se logró cuando se modificó los desechos verdes compostados con la combinación de 20% de biochar y 0.7% de ácidos húmicos, La combinación no solo mejoró la distribución del tamaño de partícula y ajusto la densidad aparente, la porosidad y capacidad de retención de agua en los rangos ideales (Zhang et al., 2014).



**Figura 14.** Valores de capacidad de campo antes y después del ensayo: T1= 0% de biochar, T2= 2% de biochar, T3= 5% de biochar, T4= 8% de biochar, T5= 10% de biochar.

#### 4.4.3. Punto de marchitez permanente

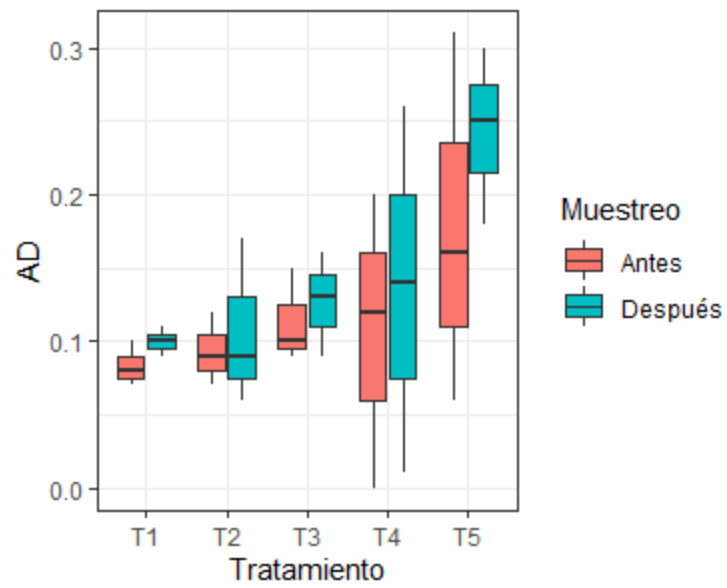
Mediante la prueba estadística ANOVA no se encontró diferencias entre tratamientos tampoco hubo cambios significativos entre fechas de muestreo (ver Tablas 12 y 13).



**Figura 15.** Valores de punto de marchitez antes y después del ensayo: T1= 0% de biochar, T2= 2% de biochar, T3= 5% de biochar, T4= 8% de biochar, T5= 10% de biochar.

#### 4.4.4. Agua Aprovechable

Numerosos estudios han evaluado y encontrado que el biochar incrementa la capacidad de retención de agua de los suelos aunque también se han encontrado casos en los que no, sin embargo, no se sabe que cantidad del agua está disponible para las plantas, muy pocos estudios han evaluado el agua disponible después de aplicar biochar en los suelos, los resultados demuestran que el agua disponible para las plantas no es estadísticamente diferentes entre tratamientos, tampoco son diferentes entre fechas de muestreo (ver las Tablas 12 y 13).



**Figura 16.** Valores de agua disponible antes y después del ensayo: T1= 0% de biochar, T2= 2% de biochar, T3= 5% de biochar, T4= 8% de biochar, T5= 10% de biochar.



**Tabla 12.** Resultados del ANOVA incluyendo sus medias y desviación estándar, además la comparación de Tukey para las variables físicoquímicas del suelo después de 3 meses bajo el efecto de la aplicación de diferentes dosis de biochar

	<b>T1</b> 0%	<b>T2</b> 2%	<b>T3</b> 5%	<b>T4</b> 8%	<b>T5</b> 10%	<b>F</b>	<b>Prob.</b>	
antes de la siembra								
<b>pH</b>	7.9 ± 0.1 c	7.5 ± 0.05 b	7.2 ± 0.13 a	7.2 ± 0.05 a	7.95 ± 0.18 c	26.92	<b>0.0000247</b>	***
<b>MO</b>	6.43 ± 0.2 a	8.3 ± 0.2 ab	9.8 ± 0.8 b	13.2 ± 0.75 c	16.46 ± 1.26 d	83.13	<b>0.000000124</b>	***
<b>Da</b>	1.14 ± 0.035 c	0.95 ± 0.037 b	0.98 ± 0.011 b	0.96 ± 0.0519 b	0.71 ± 0.03 a	54.23	<b>0.000000961</b>	***
<b>Ps</b>	0.47 ± 0.01 a	0.53 ± 0.075 ab	0.54 ± 0.061 ab	0.67 ± 0.065 b	0.7 ± 0.09 b	6.62	<b>0.00716</b>	**
<b>CC</b>	0.25 ± 0.01 a	0.25 ± 0.02 a	0.27 ± 0.02 a	0.27 ± 0.02 a	0.29 ± 0.11 a	0.381	0.817	
<b>PM</b>	0.16 ± 0.005 a	0.15 ± 0.051 a	0.16 ± 0.005 a	0.16 ± 0.07 a	0.11 ± 0.005 a	0.848	0.526	
<b>AD</b>	0.08 ± 0.01 a	0.09 ± 0.02 a	0.11 ± 0.03 a	0.1 ± 0.1 a	0.17 ± 0.1 a	0.719	0.598	
después de la siembra								
<b>pH</b>	7.76 ± 0.32 a	7.6 ± 0.75 a	7.36 ± 1.05 a	7.36 ± 0.9 a	7.26 ± 0.85 a	0.19	0.938	
<b>MO</b>	8.5 ± 0 a	10 ± 1 ab	11.53 ± 0.95 bc	15.5 ± 0.5 c	14.5 ± 1.32 c	33.59	<b>0.00000901</b>	***
<b>DA</b>	1.16 ± 0.04 c	0.98 ± 0.07 bc	0.99 ± 0.03 bc	0.95 ± 0.04 ab	0.78 ± 0.11 a	11.54	<b>0.00091</b>	***
<b>CC</b>	0.26 ± 0.01 a	0.28 ± 0.07 a	0.29 ± 0.03 a	0.3 ± 0.05 a	0.32 ± 0.11 a	0.355	0.835	
<b>Ps</b>	0.49 ± 0.04 a	0.54 ± 0.092 ab	0.54 ± 0.061 ab	0.68 ± 0.051 ab	0.71 ± 0.1 b	4.87	<b>0.0193</b>	*
<b>PM</b>	0.16 ± 0.005 a	0.17 ± 0.02 a	0.16 ± 0.005 a	0.16 ± 0.07 a	0.08 ± 0.06 a	2.564	0.104	
<b>AD</b>	0.1 ± 0.01 a	0.1 ± 0.05 a	0.12 ± 0.03 a	0.13 ± 0.12 a	0.24 ± 0.06 a	2.131	0.151	



**Tabla 13.** Resultados del ANOVA incluyendo sus medias, además la comparación de múltiple de Tukey antes y después bajo el efecto de la aplicación de diferentes dosis de biochar

Variables	T1 (0%)		T2 (2%)		T3 (5%)		T4 (8%)		T5 (10%)		F	P	Sig.
	antes	después	antes	después	antes	después	antes	después	antes	después			
<b>pH</b>	7.9	7.76	7.5	7.6	7.2	7.36	7.2	7.36	7.95	7.26	0.52	0.71	
<b>MO</b>	6.43	8.5	8.3	10	9.8	11.53	13.2	15.5	16.46	14.5	7	<b>0.001</b>	<b>**</b>
<b>Da</b>	1.14	1.16	0.95	0.98	0.98	0.99	0.96	0.95	0.71	0.78	0.38	0.81	
<b>Ps</b>	0.47	0.49	0.53	0.54	0.54	0.54	0.67	0.68	0.7	0.71	0.02	0.998	
<b>CC</b>	0.25	0.26	0.25	0.28	0.27	0.29	0.27	0.3	0.29	0.32	0.04	0.99	
<b>PM</b>	0.16	0.16	0.15	0.17	0.16	0.16	0.16	0.16	0.11	0.08	0.37	0.82	
<b>AD</b>	0.08	0.1	0.09	0.1	0.11	0.12	0.1	0.13	0.17	0.24	0	0.96	



**Tabla 14.** Resultados de Kruskal-Wallis incluyendo sus medias y desviación estándar, para la variable conductividad eléctrica del suelo después de 3 meses bajo el efecto de la aplicación de diferentes dosis de biochar

Tratamientos	antes de la siembra			Chi cuadrado	gl	Prob.
T1 (0 %)	0.36	±	0.01	10.65	4	<b>0.03</b>
T2 ( 2%)	0.37	±	0.01			
T3 (5 %)	0.44	±	0.05			
T4 (4 %)	0.36	±	0.005			
T5 (5 %)	0.38	±	0			
	después de la siembra			Chi cuadrado	gl	Prob.
T1 (0 %)	1.24	±	0.05	11.848	4	<b>0.0185</b>
T2 ( 2%)	0.97	±	0.02			
T3 (5 %)	0.97	±	0.1			
T4 (4 %)	0.94	±	0			
T5 (5 %)	1.63	±	0.13			

**Tabla 15.** Resultados de Kruskal-Wallis incluyendo sus medias, para la variable conductividad eléctrica del suelo después de 3 meses bajo el efecto de la aplicación de diferentes dosis de biochar

	antes	después	Chi-cuadrado	gl	P	Sig.
T1 (0%)	0.36	1.24	21.98	1	0.00000275	***
T2 (2%)	0.37	0.97				
T3 (5%)	0.44	0.97				
T4 (8%)	0.36	0.94				
T5 (10%)	0.38	1.63				



#### **4.5. Análisis químico**

Conocer las propiedades químicas del suelo se relacionan con la dinámica de la fertilidad del suelo. El suelo es una entidad química que contiene más de 100 elementos entre ellos: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio (Naranjo, 2017).

##### **4.5.1. Contenido de nitrógeno**

Como se aprecia en la (Tabla 16), la cantidad de nitrógeno en el suelo se incrementa en los tratamientos que tienen biochar. Según los valores óptimos del INIAP se interpreta que todos los tratamientos antes de la siembra de cítricos tienen las cantidades de nitrógeno bajas mientras que después de la siembra presentan valores medios estos valores son estadísticamente diferentes. El aumento del contenido de N, puede justificarse por el aporte directo de estos nutrientes con el propio biochar.

Trupiano et al. (2017) también encontraron mayor producción de biomasa al aplicar biocarbón en el cultivo de lechuga en macetas. Este autor reportó que la actividad de las enzimas relacionales con los ciclos de nitrógeno y fósforo y carbono resultó mejoradas con la aplicación de este material; esa práctica favoreció la disponibilidad de estos elementos para las plantas y mantuvo disponible más humedad en el suelo.

##### **4.5.2. Contenido de Fósforo**

Según los valores óptimos del INIAP las cantidades de fósforo son consideradas altas antes y después del ensayo no hay cambios significativos (ver Tabla 17). El P es un elemento que tiene una estrecha interacción con compuestos orgánicos (MO) y disminuye su disponibilidad con la disminución del pH en el suelo, se ha reportado que enmiendas con biochar puede ser fuente de P y K.



#### **4.5.3. Contenido de Potasio**

En la (Tabla 16), el contenido de potasio hay una reducción proporcional a la dosis de biochar, es decir mientras más biochar incorporado menor cantidad de potasio, las cantidades son consideradas altas antes y después del ensayo.

#### **4.5.4. Contenido de Calcio**

En los tratamientos con biochar el contenido de calcio no fue mayor al testigo, al contrario, este elemento disminuyo con la dosis más alta de biochar, comparando antes y después este elemento se pierde con respecto a los contenidos iniciales estos datos son estadísticamente diferentes, como se observa en la (Tabla 17), pero estos valores son considerados altos antes y después del ensayo.

Por lo general se considera que la eliminación de nutrientes Ca de la solución del suelo se debe precisamente al consumo de las plantas y a la lixiviación que ocurre en el agua por percolación. Gallo, Lugo, y Barrera., (2018), observo que al sustituir el 20 y 50% del sustrato con biochar, las plantas tienen un desarrollo normal y la producción del tomate es comparable al obtenido en ausencia del biochar; sin embargo al sustituir el 80 o 100% de sustrato por el biochar, el efecto en el crecimiento de las plantas es negativo, aparentemente por la ausencia de nutrientes.

#### **4.5.5. Contenido de Magnesio**

El contenido de Magnesio tiene un comportamiento igual que el calcio a medida que se incorpora el biochar este elemento disminuye, al comparar antes y después de la siembra hay cambios significativos ( $p= 0.01$ ), como se aprecia en la (Tabla 17). Estos resultados no concuerdan con el trabajo realizado por Gómez et al ., (2016) que aplicó biochar elaborado a partir del cuesco de la palma africana en dosis de biochar (masa/masa) 0, 2, 5 y 10% y se



comparó con un tratamiento con cal, en el cultivo de maíz, en las mezclas suelo y biochar se observó un incremento de K, Ca, y Mg.

**Tabla 16.** *Contenido de macro elementos antes y después del ensayo*

Tratamiento	Antes de la siembra (10/06/2019)					Después de la siembra (13/09/2019)				
	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
	ppm		meq/100ml			ppm		meq/100ml		
T1	1.4	b 132	a 3.9	a 19.8	a 4.1	30	m 139	a 4.65	a 17	a 4.96
T2	4.9	b 135	a 3.3	a 19.1	a 3.3	22	m 141	a 4.25	a 17	a 4.72
T3	10.8	b 137	a 3.3	a 20	a 3.4	35	m 123	a 3.73	a 18	a 4.34
T4	12.6	b 138	a 3.1	a 18.8	a 3.2	70	a 120	a 3.76	a 17	a 4.06
T5	14.3	b 143	a 2.6	a 17.5	a 3.1	30	m 118	a 2.97	a 16	a 3.69

N=Nitrógeno, P=Fosforo, K= Potasio, Ca= calcio, Mg= Magnesio; T1= 0% de biochar, T2= 2% de biochar, T3= 5% de biochar, T4= 8% de biochar, T5= 10% de biochar; Interpretación = a=alto, m = medio, b=bajo.

Fuente: Laboratorio de suelos, plantas y aguas. EEA, INIAP 2019.

**Tabla 17.** *Resultados de Kruskal-Wallis incluyendo sus medias, para las variables químicas del suelo después de 3 meses bajo el efecto de la aplicación de diferentes dosis de biochar*

Elemento	Antes de la siembra		Después de la siembra		F	Prob.
N	10.84	± 5.45	30.1	± 18.65	10.83	0.011 *
P	137	± 4.06	123	± 10.94	2.84	0.13
K	3.3	± 0.48	3.76	± 0.63	3.13	0.11
Ca	19.14	± 1	16.97	± 0.61	14.32	0.005 **
Mg	3.34	± 0.38	4.34	± 0.5	10.26	0.01 *

#### 4.5.5. Relaciones entre Cationes K, Ca, Mg

Una investigación realizada en Estados Unidos contrarresta los conceptos asumidos por mucho tiempo que indica que se deben mantener una relación específica entre el calcio y magnesio en el suelo. Según Kelling y Schulte, (2000), las relaciones específicas de Ca:Mg no tienen efecto consistente en el rendimiento de los cultivos y compactación del suelo. En este



trabajo las relaciones entre el Ca: Mg son consideradas ideales, mientras que la relación entre Mg: K son aceptables, pero la relación entre (Ca + Mg) / K son consideradas bajas según los valores óptimos reportados por e INIAP ver las (Tablas18 y 19).

**Tabla 18.** *Relaciones entre cationes K, Ca, y Mg.*

Tratamiento	Fecha	EBases	Ca/Mg	Mg/K	(Ca+Mg)/k
T1	Inicio	27.82	4.82	m	1.04
T2	Inicio	25.78	5.73	m	1.01
T3	Inicio	26.73	5.83	m	1.04
T4	Inicio	25.04	5.87	m	1.04
T5	Inicio	23.21	5.56	m	1.2
T1	Final	26.58	3.42	m	1.07
T2	Final	26.22	3.65	m	1.11
T3	Final	26.01	4.13	m	1.16
T4	Final	24.53	4.12	m	1.08
T5	Final	22.86	4.39	m	1.24

K= Potasio, Ca= calcio, Mg= Magnesio; T1= 0% de biochar, T2= 2% de biochar, T3= 5% de biochar, T4= 8% de biochar, T5= 10% de biochar; Interpretación: a=alto, m = medio, b=Bajo.

Fuente: Laboratorio de suelos, plantas y aguas. EEA, INIAP 2019.

**Tabla 19.** *Valores óptimos para la mayoría de cultivos*

Macro elementos	Valores óptimos
N	20-40
P	10-20
K	0.2-0.4
Ca	4-8
Mg	1-3
MO	3-5
Ca/Mg	2-8
Mg/K	2.5-10
(Ca+Mg)/K	12.5-50

Fuente: Laboratorio de Suelos, Plantas y Aguas. EEA, INIAP 2019.

#### 4.6. Análisis de componentes principales

Se obtuvo los valores propios de la matriz de correlaciones, que coincidirán con las varianzas de las diferentes componentes principales. Dichos valores vienen dados en la (Tabla 20), donde también se muestra el porcentaje de la varianza total explicada por cada componente principal. Es importante resaltar que el primer componente siempre es el que tienen la mayor varianza explicada (auto-valor) en consecuencia su identificación y análisis es de gran ayuda a la hora de interpretar los resultados.

**Tabla 20.** *Varianza explicada*

	Valor propio	Porcentaje explicado	Porcentaje acumulado
Comp.1	12.74	67.05 %	67.05 %
Comp.2	3.14	16.54 %	83.59 %
Comp.3	2.01	10.57 %	94.17 %
Comp.4	1.11	5.83 %	100.00 %
Comp.5	0.00	0.00 %	100.00 %



Para la selección de los valores propios significativos se partió del criterio de Cliff (1987) citado por Torriente y Torres (2010) el cuál expresó que se considera como aceptables aquellos componentes cuyos valores característicos expliquen un 70% o más de la varianza total de la matriz en función de la factibilidad del estudio. Se ha determinado dos componentes principales C1 y C2 representativos para este análisis y en función de ellos se explica el 83.5 % de la variabilidad total de los datos.

En la (Tabla 21) se presenta las correlaciones o pesos de las variables evaluadas con cada componente y se observa cómo la primera componente principal está definida por las variables con coeficientes positivos biomasa aérea, altura, punto de saturación, agua disponible, capacidad de campo y valores negativos para las variables pH, densidad aparente, potasio y magnesio.

La segunda componente principal tiene coeficientes positivos para las variables de Nitrógeno y valores negativos para las propiedades conductividad eléctrica y biomasa radicular.

**Tabla 21.** *Correlación de cada variable con las dos componentes principales construidas.*

		Comp.1	Comp.2
Altura	<b>A</b>	<b>0.96</b>	-0.22
Número de hojas	H	0.68	0.44
Tamaño de hojas	T	0.65	0.06
Diámetro	D	0.56	0.41
Biomasa aérea	<b>B_a</b>	<b>0.98</b>	0.03
Biomasa radicular	B_r	0.72	<b>-0.67</b>
pH	<b>pH</b>	<b>-0.92</b>	-0.33
Conductividad eléctrica	CE	0.54	<b>-0.8</b>
Materia orgánica	MO	0.88	0.4
Densidad aparente	<b>Da</b>	<b>-0.95</b>	0.06
Punto de saturación	<b>Ps</b>	<b>0.95</b>	0.08
Capacidad de campo	<b>CC</b>	<b>0.94</b>	0.21
Punto de marchitez	PM	-0.78	0.58
Agua disponible	<b>AD</b>	<b>0.94</b>	-0.32
Nitrógeno	N	0.27	<b>0.74</b>
Fósforo	P	-0.87	-0.34
Potasio	<b>K</b>	<b>-0.98</b>	-0.02
Calcio	Ca	-0.55	0.44
Magnesio	<b>Mg</b>	<b>-0.99</b>	-0.13

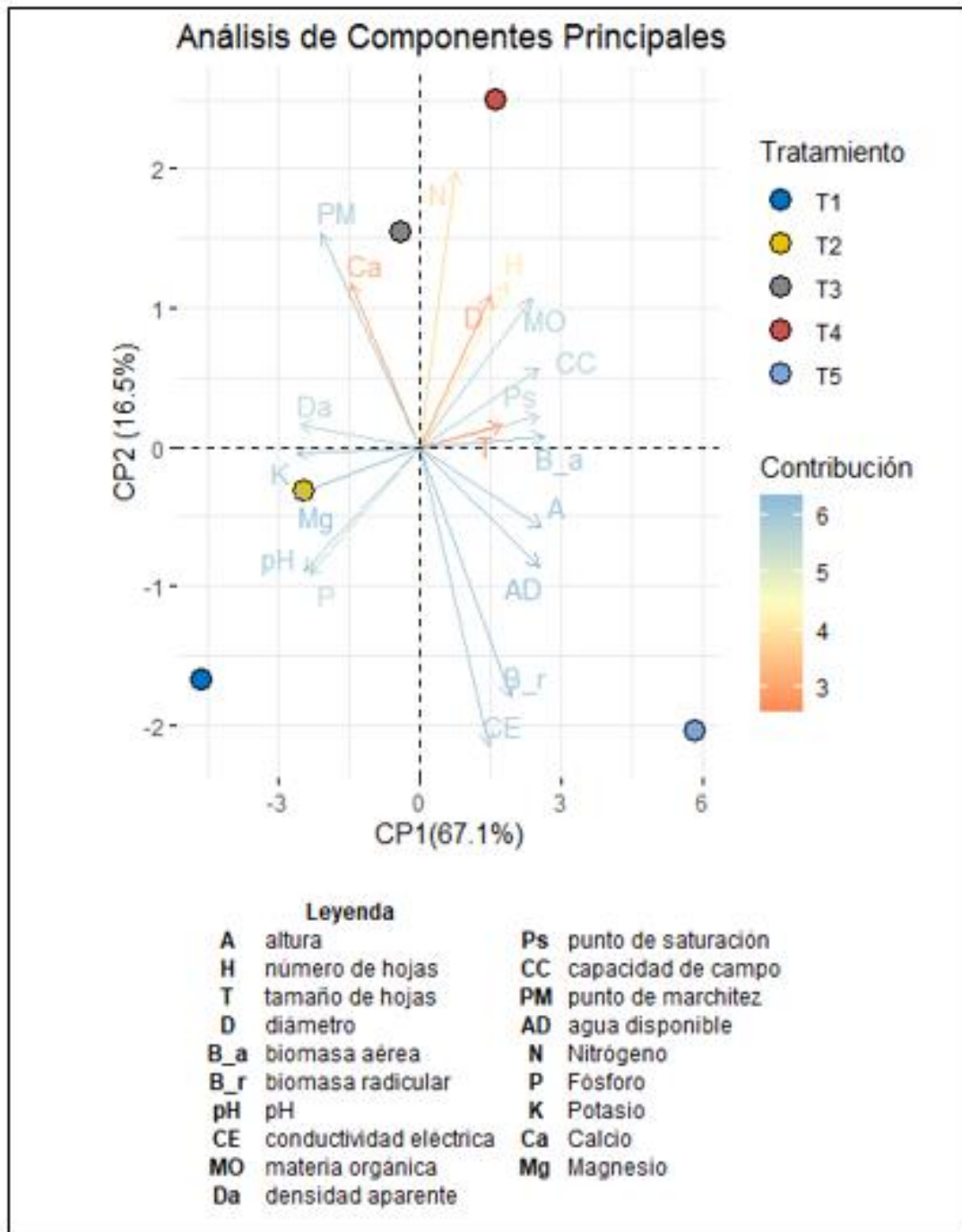
### Relación entre los tratamientos y variables

Se usó el método de biplot para la representación de las variables que han sido medidas con diferentes dosis de biochar, esta solución permite representar simultáneamente los individuos (dosis de biochar) y las variables, otorgando el mismo peso a todos los datos.

Los individuos se sitúan según sus coordenadas pudiendo ver la relación de cada uno de ellos con cada variable, Por ejemplo, se puede ver que T1y T2 está vinculado con el pH, fósforo, magnesio, potasio, el T3 tiene relación con el punto de marchitez, el T4 tiene relación con la materia orgánica, capacidad de campo, punto de saturación, y finalmente el T5 está vinculado



con la conductividad eléctrica, la biomasa radicular, el agua disponible, altura de planta, biomasa aérea.



**Figura 17.** Análisis de componentes principales para las variables del suelo y planta de los tratamientos



## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se produjo biochar a partir de residuos de eucalipto a través de un proceso de pirólisis lenta con un rendimiento de 30%, lo que es considerado óptimo.

Las características del biochar dependen de la materia prima, es nuestro trabajo el biochar obtenido presentó un pH ácido, bajo contenido en nitrógeno, fósforo y magnesio y alto contenido de potasio y calcio.

El biochar demostró cambiar algunas condiciones físicas y químicas del suelo, permitiendo un mejor desarrollo de la planta de cóleos, las variables altura, tamaño de hojas, diámetro de tallo, biomasa aérea y radicular, presentaron diferencias significativas entre tratamientos, los tratamientos con 8 y 10 % de biochar obtuvieron mejores promedios en cuanto a la altura y biomasa aérea, los mejores promedios para la biomasa subterránea y tamaño de hojas fueron los de 2 y 10 %, finalmente las mejores dosis para el diámetro de tallo fue 2, 5, 8 y 10% de biochar, para la variable número de hojas no hubo diferencias entre tratamientos.

La aplicación de biochar no siempre eleva los niveles de pH como indican algunos autores, también se concluye que la dosis 2, 5, 8 y 10 elevaron el contenido de materia orgánica respecto al testigo, también hay cambios significativos en la conductividad eléctrica.

La incorporación de biochar modificó las variables densidad aparente y punto de saturación siendo estadísticamente diferente entre tratamientos antes y después pero no hubo diferencias entre fechas, las variables capacidad de campo, punto de marchitez y agua disponible no fueron diferentes entre tratamientos.

En cuanto a la parte de los macro elementos, al añadir biochar a las macetas después de 3 meses, solo el N, Ca y Mg fueron estadísticamente diferentes, otros elementos como P y K se obtuvieron valores altos antes y después del ensayo.



A menudo resulta complicado determinar qué factores son los más importantes para justificar el aumento del desarrollo de las plantas. Nuestro experimento de macetas a corto plazo demostró que al incorporar biochar proporcionó una mejor calidad de suelo como es la reducción de la densidad aparente, el aumento de materia orgánica del suelo, neutralización de pH que también se reflejaron en el mejor crecimiento de plantas y rendimiento de biomasa.

Basados en los resultados estadísticos obtenidos, al presentarse diferencias entre tratamientos se acepta la hipótesis alternativa las cuales indican que “La adición de biochar a base de residuos de eucalipto, incrementa el desarrollo del cultivo de cóleos a través de la modificación de las propiedades químicas e hidrofísicas del suelo.

### **RECOMENDACIONES**

- Realizar estudios sobre el efecto del uso de biochar con los micro elementos y con la interacción de los microorganismos.
- Aplicar el biochar en distintos tipos de suelo para comprobar su eficacia como enmienda de suelo.
- Analizar el desarrollo de plantas ornamentales con otros tipos de biochar, utilizando diferentes materias primas de origen orgánico para la producción del biochar, de la misma manera, se podría ampliar la utilización de esa enmienda en otros tipos de cultivos.



## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abenza, D. (2012). Evaluación de efectos de varios tipos de biochar en suelo y planta. Tesis.1-111
- Abiven, S., Schmidt, M., y Lehmann, J. (2014). Biochar by design. *Nature Geoscience*, 7(5), 326-327.
- Alvarez, J., Pasian, C., Lal, R., López, R., y Fernandez, M. (2016). Respuesta fisiológica de las plantas cuando biochar y vermicompost son utilizados como sustituto parcial de la turba en la producción de planta ornamental. *Red Española del Compostaje*, 330-334.
- Alvarez, J., Pasian, C. y Lal, R. (2018) A biotic strategy to sequestrer carbon in the ornamental containerized bedding plant production, *Spanish Journal of Agricultural Research* 16(3) 17.
- Arredondo, A., Ávila, R., y Muñoz, L. (2012). Fichas descriptivas de 52 plantas ornamentales que se comercializan en la Huasteca Potosina 1-82.
- Bicalho, C., Fernandes, A., Colen, F., y Arruda, R. (2017). Growth and production of common bean fertilized with biochar. *Ciencia rural*, 47(11), 1-8.
- Briones, W. (2017). El cultivo de pimiento(*Capsicum annum* L) y su respuesta a la aplicación de carbón vegetal (Biochar) en la zona Baba- Ecuador. Tesis 1-70. Universidad de Guayaquil.
- Cabrera, R. (1999). Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 1:5-11.
- Camacho, J ., Luengas, C., y Leiva, F. (2010). Análisis multivariado de propiedades químicas en Oxisoles con diferentes niveles de intervención agrícola. *Acta Agron* , 59 (3) , 273-284
- Chavéz, J., Oclocho, F., Huamán, E.,y Collazos, S. (2017). Influencia de la aplicación de biopreparados en el rendimiento del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.). *Agroproducción sustentable*,1(2), 32-39.



- Cueto, M. (2016). Potencial de producción de biochar en España a partir de residuos de la industria papelera, de lodos de E.D.A.R., de residuos sólidos urbanos y de residuos ganaderos: Estudio de la fijación de carbono. Tesis, 1-236.
- Díaz, C. (2017). Uso de biochar de acícula de pino (*Pinus patula*) como enmienda de suelo negro andino (Andosol). Tesis, 1-47.
- Ding, Y., Liu, Y., Liu, S., Li, Z., Tan, X., Huang, X., y Zheng, B. (2016). Biochar to improve soil fertility. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 36(2), 1-18.
- Dispenza, V., De Pasquale, C., Fascella, G., Mammano, M., y Alonzo, G. (2016). Use of biochar as peat substitute for growing substrates of *Euphorbia* × *lomi* potted plants. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 14(4), 1-11.
- Djousse, B., Allaire, S., y Munson, A. (2018). Quality of Biochars Made from Eucalyptus Tree Bark and Corncob Using a Pilot-Scale Retort Kiln. *Waste and Biomass Valorization*, 9(6), 899-909.
- Dulac, J. (2018). Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector. *Global Status Report*, 1-325.
- Escalante, A., Pérez, G., Hidalgo, C., López, J., Campo, J., Valtierra, E., y Etchevers, J. (2016). Biobarbon (Biochar) I Naturaleza, fabricación y uso en el suelo. *Red de revistas científicas de América Latina*, 34(3), 367-382.
- Estrella, M., y González, A. (2014). Desarrollo Sustentable Un nuevo Mañana. Grupo editorial PATRIA. México. ISBN ebook: 978-607-438-904-3, 22.
- Fernandez, A., y Silva, F. (2016). El Género *Eucalyptus* ( *Myrtaceae* ) en Galicia : Claves y descripción El Género *Eucalyptus* ( *Myrtaceae* ) en Galicia : Claves y descripción The genus *Eucalyptus* ( *Myrtaceae* ) in Galicia : Identification keys and descriptions, 23-51.



- Gallo, M., Lugo, L., y Barrera, R. (2018). Evaluación de biochar como alternativa de sustrato en cultivos de tomate. *Scientia et Technica*, 23 (2), 297-303.
- Gayosso, S., Borges, L., Villanueva, E., Estrada, M., y Garruña, R. (2016). Sustratos para la producción de flores. *Agrociencia*, 50 (5), 617-621.
- Gilces, M. (2014). Efectos de la aplicacion de biochar y cenizas en las propiedades del suelo. Tesis 1-22. Valladolid.
- Gómez, L., Dominguez, A., Jiménez, D., Ocampo, A., y Parra, S. (2016). Biochar como enmienda de un oxisol y su efecto en el crecimiento del maíz. U.D.C.A, 341-349.
- Graizbord, B. (2016). De procesos metropolitanos a ciudades sustentables. *Economia sociedad y territorio*, 16 (50), 265-275.
- Hernández, T. (2013). Evaluación técnica y económica del desarrollo de un sustrato natural a base de fibra de palma africana (*Elaeis guineensis*), cascarilla de arroz (*oryza sativa*) carbonizada y humus de lombriz (*Eisenia foetida*) para la germinación de varias hortalizas. Universidad de la Américas. Tesis 1-143
- Housley, C., Kachenko, A., y Singh, B. (2015). Effects of eucalyptus saligna biochar-amended media on the growth of *acmena smithii*, *viola var hybrida*, and *viola × wittrockiana*. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 90 (2), 187-194.
- Huang, L., Niu, G., Feagley, S., y Gu, M. (2019). Evaluation of a hardwood biochar and two composts mixes as replacements for a peat-based commercial substrate. *Industrial Crops and Products*, 129: 549-560.
- Ibarrola, R., Evar, B., y Reay, D. (2013). Comercialización de biocarbón (Biochar) En México. Tesis, 1-23.
- Iglesias, S., Alegre, J., Salas, C., y Egüez, J. (2018). El rendimiento del maíz (*Zea mays* L.)



- mejora con el uso del biochar de eucalipto. *Scientia Agropecuaria*, 9 (1), 25-32.
- Jaiswal, A., Elad, Y., Graber, E., y Frenkel, O. (2014). Rhizoctonia solani suppression and plant growth promotion in cucumber as affected by biochar pyrolysis temperature , feedstock and concentration. *Soil Biology and Biochemistry*, 69: 110-118.
- Kelling, K., y Schulte, E. (2000). Nuevas Tendencias en las relaciones Calcio Magnesio. Proceedings. *Informaciones agronómicas* 1-12.
- Lehmann, J., Gaunt, J., y Rondon, M. (2006). La captura biológica de biochar en ecosistemas terrestres. *SpringerPlus*, 10: 403-427.
- Lehmann, J., Rillig, M., Thies, J., Masiello, C., Hockaday, W., y Crowley, D. (2011). Biochar effects on soil biota - A review. *Soil Biology and Biochemistry*, 43(9), 1812-1836.
- León, E. (2016). Efecto de la retención de agua y las propiedades físicas del suelo, por la aplicación de tres tipos de coberturas, en el cultivo de lechuga(Lactuca sativa), regado mediante goteo. Cuenca- Ecuador. Tesis 1-105 .
- Liu, L. (2015). Desarrollo de nuevos sustratos a base de compost y biochar para la propagación y producción de Rosmarinus officinalis L. Universidad politecnica de Valencia. Tesis 1-47
- López, M., Crespo, Y., Abreu, L., López, G., Quintana, Y., y Martínez, I. (2013). Efecto del biocarbón en las propiedades físicas de diferentes sustratos orgánicos, 1:12-22.
- Marín, J., Barrezueta, S., y García, R. (2018).Elaboración de biocarbón obtenido a partir de la cáscara de cacao y raquis del banano. *Revista Científica Agroecosistemas*, 6(3), 75-81.
- Maroušek, J., Vochozka, M., Plachý, J., y Žák, J. (2017). Glory and misery of biochar. *SpringerPlus*, 19 (2), 311-317.
- Martínez, C. (2015). Efectos de enmiendas de biochar sobre el desarrollo en Cucumis sativus L. SMR-58. Guadalajara Tesis 1-94.



- Méndez, A. (2017). Cambio en las propiedades químicas de un biochar de sarmientos de vid por adición a pilas de compostaje. Tesis 1-52. Valladolid.
- Molina, D. (2013). Evaluación de la aplicación de Biochar en un cultivo de *Physalis peruviana* L. (Uchuva). Tesis, 1-44.
- Mukherjee, A., y Lal, R. (2013). Impactos del biochar sobre las propiedades físicas y químicas del suelos emisiones de gases de efecto invernadero. *Agronomy*, 3(2), 313-339.
- Naranjo, S. (2017). Evaluación de los parámetros físicos, químicos, e hidrofísicos del suelo en el proyecto "Acuerdos recíprocos por agua " de EMAPAL- EP. Tesis 1-88. Universidad de Cuenca.
- Netherton, E. (2013). Biochar Effects on Soil Quality as Evaluated by Physical , Chemical , and Biological Parameters. Tesis 1-270.
- Nigussie, A., Kissi, E., Misganaw, M., y Ambaw, G. (2012). Effect of Biochar Application on Soil Properties and Nutrient Uptake of Lettuces (*Lactuca sativa*) Grown in Chromium Polluted Soils. *American-EurasianJ, Agric*, 12 (3), 369-376.
- Oliveira, F. R., Patel, A. K., Jaisi, D. P., Adhikari, S., Lu, H., y Khanal, S. K. (2017). Environmental application of biochar: Current status and perspectives. *Bioresource Technology*, 246: 110-122.
- Oliverio, M. (2014). Evaluación de cinco sustratos para la producción en vivero de palo blanco (*Tabebuia donnell-smithii* Rose); Santa Catalina La Tinta , Alta Verapaz. Rafael Landivar .
- Olmo, M. (2016). Efectos del biochar sobre el suelo , las características de la raíz y la producción vegetal. Tesis, 1-156.
- Ortega, L., Flores, L., Duchi, N., Flores, C., Ayala, D., y Orozco, L. (2015). Restauración ecológica del suelo aplicando biochar (carbón vegetal), y su efecto en la producción de





- Medicago sativa. *Ciencia y Agricultura*, 12: 13-20.
- Pelaez, M., Garcia, M., Martí, J., y Montero, A. (2015). Estado de uso de la biomasa para la producción de bioenergía, biocombustibles y bioproductos en Ecuador. *ResearchGate*, 1-447.
- Peréz, B. (2009). Enraizamiento de cortes de tres especies de ornamentales mediante el uso de diferentes tipos de enraizadores y sustratos manejadas en contenedor. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro 1-118.
- Portero, A. (2014). Análisis térmico del proceso de peletizado del aserrín de madera de eucalipto( *Eucalyptus globulus* Labill) y copal ( *Dacryodes olivifera* cuatrecasas) y su influencia sobre la friabilidad de los pellets Tesis 1-124.
- Preston, T. (2013). El papel del biocarbono en la sostenibilidad y competitividad de sistemas agropecuarios. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 26 : 304-312.
- Ramírez, F. (2014). El carbon vegetal forestal como sustrato, mas Nitrógeno, Fosforo y Potasio (N.P.K) en el cultivo de Raphanus sativa «Rabano» Tesis 1-65.
- Romero, J. (2017). Eficiencia en la movilización de plomo en el suelo mediante la aplicación de cantidades de biocarbón en el Distrito San Mateo, Lima. Universidad César Vallejo. Tesis 1-95.
- Rondon, M., Lehmann, J., Ramírez, J., y Hurtado, M. (2007). Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with bio-char additions. *Biology and Fertility of Soils*, 43 (6), 699-708.
- Santos, E. (2017a). Beneficios de las áreas verdes - Parques Alegres I.A.P.
- Schejtman, L., Bidart, M., y Deleersnyder, D. (2015). Hacia ciudades sustentables. *CIPPEC* 1-38.
- Suva, M., Patel, A., y Sharma, N. (2016). Especies : coleo scutellarioides Solenostemon. Invento



rapido *Planta Activa* 2015 (2), 1-6 .

- Torrez, H. (2010). Efecto de la Longitus de estaca herbacea en el enraizamiento de tres variedades de coleo(*Coleo blumei*) bajo ambiente atemperado. Tesis 1-78.
- Torriente, D y Torres V. (2010). El análisis de componentes principales en la interpretación de sistemas agroecológicos para el manejo de rizobacterias promotoras del del crecimiento vegetal para el cultivo de caña de azucar, 28: 23-32
- Trupiano, D., Coccozza, C., Baronti, S., Amendola, C., Vaccari, F. P., Lustrato, G., y Scippa, G. (2017). The effects of biochar and its combination with compost on lettuce (*Lactuca sativa* L.) growth, soil properties, and soil microbial activity and abundance. *International Journal of Agronomy*, 2017:1-12
- Vaughn, S., Kenar, J., Thompson, A., y Peterson, S. (2013). Comparison of biochars derived from wood pellets and pelletized wheat straw as replacements for peat in potting substrates. *Industrial Crops and Products*, 51, 437-443.
- Yu, P., Huang, L., Guo, Y., y Gu, M. (2019).Evaluation of Biochar and Compost Mixes as Substitutes to a Commercial Propagation Mix .*Appl.Sci* 9: 4394
- Yuan, W. (2019). Effect of biochar and peat on the growth of *Impatiens balsamina* as a growth medium. *Journal of Agricultural Resources and Enviroment*, 36(5) 656-663.
- Zhang, L., Sun, X., Tian, Y., y Gong, X. (2014). Biochar and humic acid amendments improve the quality of composted green waste as a growth medium for the ornamental plant *Calathea insignis*. *Scientia Horticulturae*, 176: 70-78.
- Zulfiqar, F. (2019). Evaluation of container sbstrates containing compost and biochar for ornamental plant *Dracaena deremensis*. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 56 (3), 613-621.

## ANEXOS



## Anexo: 1 Resultados del análisis del suelo

Tratamiento	Fecha	pH		N	P	K	Ca	Mg	E Bases	Ca/Mg	Mg/K	(Ca+Mg)/k
					ppm			mec/100ml				
T1	Inicio	7.9	LAI	1.4	B 132	A 3.94	A 19.78	A 4.1	A 27.82	4.82	M 1.04	B 6.06
T2	Inicio	7.6	LAI	4.9	B 135	A 3.3	A 19.14	A 3.34	A 25.78	5.73	M 1.01	B 6.81
T3	Inicio	7.2	PN	10.84	B 137	A 3.3	A 20	A 3.43	A 26.73	5.83	M 1.04	B 7.1
T4	Inicio	7.2	PN	12.59	B 138	A 3.07	A 18.77	A 3.2	A 25.04	5.87	M 1.04	B 7.16
T5	Inicio	8	LAI	14.34	B 143	A 2.61	A 17.46	A 3.14	A 23.21	5.56	M 1.2	B 7.89
T1	Final	7.8	LAI	30.1	M 139	A 4.65	A 16.97	A 4.96	A 26.58	3.42	M 1.07	B 4.72
T2	Final	7.7	LAI	22	M 141	A 4.25	A 17.25	A 4.72	A 26.22	3.65	M 1.11	B 5.17
T3	Final	7.4	PN	35.2	M 123	A 3.73	A 17.94	A 4.34	A 26.01	4.13	M 1.16	B 5.97
T4	Final	7.3	PN	69.7	A 120	A 3.76	A 16.71	A 4.06	A 24.53	4.12	M 1.08	B 5.52
T5	Final	7.3	PN	30.1	M 118	A 2.97	A 16.3	A 3.69	A 22.86	4.39	M 1.24	B 6.7
Biochar		4.9	Mac RC	9.72	B 32	A 0.96	A 3.44	B 0.81	B 5.21	4.25	M 0.84	B 4.43

**Anexo: 2** Formato para calcular el punto de saturación, capacidad de campo, punto de marchitez y agua disponible

[illegible]

### **Anexo: 3** Resultados del análisis del suelo al inicio del ensayo.

	<b>ESTACION EXPERIMENTAL DEL AUSTRO</b> <b>LABORATORIO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS</b> km 12 1/2 vía El Descanso - BULLCAY - Guilaico www@iniap.gob.ec Azuay - Ecuador TeleFax: (07) 2171161	
<b>INFORME DE ANALISIS DE SUELOS</b>		
<b>DATOS DEL PROPIETARIO</b>	<b>DATOS DE LA PROPIEDAD</b>	<b>DATOS DE LA MUESTRA</b>
Nombre : EVA SANGURIMA Dirección : Ciudad : CUENCA Teléfono : N/E Técnico : TESTISTA	Nombre : Provincia : AZUAY Parroquia : N/E Ubicación : N/E Latitud : Longitud :	Fecha Muestreo : 10/06/2019 Fecha Ingreso : 11/06/2019 Fecha Emisión : 25/06/2019 Cultivo Actual : N/E
<b>N° Laborat.</b>	<b>Identificación del Lote</b>	<b>pH</b>
5868	2%	7.6 LAI
5869	5%	7.2 PN
5870	8%	7.2 PN
5871	10%	8.0 LAI
5872	TESTIGO	7.9 LAI

		ppm			mg/100mL			ppm					mg/100mL			
		N	P	K	Ca	Mg		Zn	Cu	Fe	Mn		Σ Bases	Ca/Mg	Mg/K	(Ca+Mg)/K
5868	2%	4.90 B	135.00A	3.30 A	19.14 A	3.34 A							25.78	5.73 M	1.01 B	6.81 B
5869	5%	10.84 B	137.00A	3.30 A	20.00 A	3.43 A							26.73	5.83 M	1.04 B	7.10 B
5870	8%	12.59 B	138.00A	3.07 A	18.77 A	3.20 A							25.04	5.87 M	1.04 B	7.16 B
5871	10%	14.34 B	143.00A	2.61 A	17.46 A	3.14 A							23.21	5.56 M	1.20 B	7.89 B
5872	TESTIGO	1.40 B	132.00A	3.94 A	19.78 A	4.10 A							27.82	4.82 M	1.04 B	6.06 B


Interpretación	
N, P, K, Ca, Mg, S	pH
Zn, Cu, Fe, Mn, B, Cl	
MAC = Muy Acido	N = Neutro
B = Bajo	LAI = Lig. Alcalino
M = Medio	MAH = Med. Acido
A = Alto	AL = Alcalino
	PN = Pseudo Neutro

Determinación	Metodología	Extractante
N, P	Catalintra	Cloro
K, Ca, Mg	Alcalintra	Modificado
Zn, Cu, Fe, Mn	Atómica	pH 8.5
pH	Potenciometría	Suero, agua (1:2.5)
S	Turbidimetría	Fuente de Ca
B	Catalintra	Mondalario


Niveles Metódicos de Referencia	
N	20 - 40
P	10 - 20
K	0.2 - 0.4
Ca	4 - 8

N/E No entrega.

Se prohíbe la reproducción total o parcial de este documento, los datos deberán ser apropiadamente citados.




**Responsable Laboratorio**

 **Laboratorio**


Fecha de Impresión: 25/06/2019

**Anexo: 4** Resultados del análisis del suelo al después de 3 meses del ensayo.



**INIAP**  
INSTITUTO NACIONAL  
DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

**ESTACION EXPERIMENTAL DEL AUSTRO**  
**LABORATORIO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS**  
 km 12 1/2 vía El Descanso - BULLCAY - Guayaquil www@iniap.gob.ec  
 Azuay - Ecuador TeleFax: (07) 2171161



Ministerio de  
Agricultura, Ganadería,  
Acuicultura y Pesca

**INFORME DE ANALISIS DE SUELOS**

**DATOS DEL PROPIETARIO**

Nombre : EVA SANGURIMA.  
 Dirección :  
 Ciudad : CUENCA  
 Teléfono : N/E  
 Técnico : TESISTA

Correo-e : N/E

**DATOS DE LA PROPIEDAD**

Nombre :  
 Provincia : AZUAY  
 Parroquia : SIDCAY  
 Ubicación : LLANATURO  
 Latitud :  
 Longitud :

**DATOS DE LA MUESTRA**

Fecha Muestreo : 13/09/2019  
 Fecha Ingreso : 16/09/2019  
 Fecha Emisión : 27/09/2019  
 Cultivo Actual : N/E

N° Laborat.	Identificación del Lote	pH	ppm				mg/100mL				ppm				mg/100mL	Σ Bases	Ca/Mg	Mg/K	(Ca+Mg)/K
			N	P	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn								
6060	T1	7.8 LAI	30.10	139.00A	4.65A	16.97A	4.96A								26.58	3.42	1.07	4.72	B
6061	T2	7.7 LAI	221.00A	141.00A	4.25A	17.25A	4.72A								26.22	3.65	1.11	5.17	B
6062	T3	7.4 PN	35.20M	123.00A	3.73A	17.94A	4.34A								24.51	4.13	1.16	5.97	B
6063	T4	7.3 PN	69.70A	120.00A	3.76A	16.71A	4.06A								24.63	4.12	1.08	5.52	B
6064	T5	7.3 PN	30.10M	118.00A	2.97A	16.20A	3.69A								22.86	4.39	1.24	6.70	B
6065	BIOCHAR	4.9 MAC RC	9.72 B	32.00A	0.96A	3.44 B	0.81 B								5.21	4.25	0.84	4.43	B

**Interpretación**

N, P, K, Ca, Mg, S  
Zn, Cu, Fe, Mn, B, Cl

B = Bajo  
M = Medio  
A = Alto

**Interpretación**

MAU = Muy Acido  
Ac = Acido  
MAA = Med. Acido  
LAW = Lig. Acido  
PN = Prac. Medio

pH = Nitrado  
LAI = Lig. Alcalino  
MAH = Med. Alcalino  
AL = Alcalino  
NC = Neutro Cal

**Determinación**

Nitrógeno  
K, Ca, Mg  
Zn, Cu, Fe, Mn  
pH  
S  
B

**Metodología**

Colorimetría  
Absorción  
Alémica  
Fotocolorimetría  
Turbidimetría  
Colorimetría

**Calibración**

Óptica  
Química  
Modificado  
pH 6.5  
Suelo agua (1:2.5)  
Fórmula de Ca  
Modificado

**Nuevos Medios en Referencia**

N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	B	Cl
10	20	40	1.0	3	20	4	5	10	
10	20	40	1.0	3	20	4	5	10	
0.2	0.4	2.0	4.0	8.0	8.0	0.5	1.0		
4	8	40	1.0	3	20	4	5	10	

*[Firma]*

**Responsable Laboratorio**

NE: No entrega  
 Se prohíbe la reproducción total o parcial de este documento, los datos deberán ser apropiadamente citados.

**2 INIAP**  
 GUAYACÁN, GUAYACÁN, GUAYACÁN  
 Laboratorio y Agente  
 Fecha de Impresión: 27/09/2019

Página 1 de 2